



**TUGAS AKHIR - TM 145502**

**PENGARUH VARIASI SUDUT GROOVE PADA  
PENGELASAN FCAW TERHADAP DISTORSI DAN  
TEGANGAN SISA MATERIAL BAJA SS 400**

**MOH. IRSYADUL ANAM**  
NRP 2114 030 049

Dosen Pembimbing  
Ir. Hari Subiyanto, MSc.  
NIP.19600623 198803 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



**TUGAS AKHIR**  
**TM 145502**

**PENGARUH VARIASI SUDUT GROOVE PADA  
PENGELASAN FCAW TERHADAP DISTORSI DAN  
TEGANGAN SISA MATERIAL BAJA SS 400**

**MOH. IRSYADUL ANAM**  
**NRP. 2114 030 049**

Dosen Pembimbing  
Ir. Hari Subiyanto, MSc.  
NIP.19600623 198803 1 002

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI**  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



**FINAL PROJECT**  
**TM 145502**

**EFFECT OF VARIATION GROOVE ANGLE ON FCAW  
WELDING ON DISTORTION AND RESIDUAL STRESS SS  
400 STEEL**

**MOH. IRSYADUL ANAM**  
**NRP. 2114 030 049**

**Counselor Lecturer**  
**Ir. Hari Subiyanto, MSc.**  
**NIP.19600623 198803 1 002**

**INDUSTRY MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT**  
**Faculty of Vocations**  
**Institute Technology of Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2018**

**PENGARUH VARIASI SUDUT GROOVE PADA  
PENGELASAN FCAW TERHADAP DISTORSI DAN  
TEGANGAN SISA MATERIAL BAJA SS 400**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Ahli Madya

Pada

Bidang Studi Manufaktur

Departemen Teknik Mesin Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Oleh :

**MOH. IRSYADUL ANAM**

**NRP. 2114 030 049**

Mengetahui dan Menyetujui  
Dosen Pembimbing



Ir. Hari Subiyanto, MSc.  
NIP. 19600623 198803 1 002

**SURABAYA, JANUARI 2018**

# **PENGARUH VARIASI SUDUT GROOVE PADA PENGELASAN FCAW TERHADAP DISTORSI DAN TEGANGAN SISA MATERIAL BAJA SS 400**

**Nama Mahasiswa** : Moh. Irsyadul Anam  
**NRP** : 2114 030 049  
**Departemen** : Teknik Mesin Industri FV-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Hari Subiyanto MSc

## **Abstrak**

Pengelasan sambungan pipa maupun plat harus memerhatikan adanya masalah distorsi (deformasi) yang terjadi selama proses pengelasan atau setelah material mengalami pendinginan. Untuk mengantisipasi besarnya deformasi yang terjadi salah satunya adalah penentuan penggunaan bentuk dan sudut groove.

Dalam tugas akhir dilakukan analisa untuk mengetahui pengaruh variasi sudut groove ( $50^0, 60^0, 70^0$ ) pada pengelasan FCAW terhadap distorsi dan tegangan sisa menggunakan metode elemen hingga material baja SS 400

Dari hasil analisa didapatkan hasil deformasi secara actual yaitu Material dengan sudut groove  $50^0$  memiliki nilai distorsi arah longitudinal sebesar 0,58 mm dan distorsi arah transversal sebesar 0,1 mm, Material dengan sudut groove  $60^0$  memiliki nilai distorsi arah longitudinal sebesar 1,12 mm dan distorsi arah transversal sebesar 0,1 mm. Material dengan sudut groove  $70^0$  memiliki nilai distorsi arah longitudinal sebesar 1,62 mm dan distorsi arah transversal sebesar 0,13 mm. tegangan sisa dilakukan pada Material dengan sudut groove  $50^0, 60^0, 70^0$  dengan nilai berturut turut yaitu 439 Mpa, 404 MPa, dan 388 MPa

**Kata kunci** : Distorsi ,tegangan sisa, las FCAW, sudut groove



# EFFECT OF VARIATION GROOVE ANGLE ON FCAW WELDING ON DISTORTION AND RESIDUAL STRESS STEEL SS 400

**Student** : Moh. Irsyadul Anam  
**NRP** : 2114 030 049  
**Departement** : Teknik Mesin Industri FV-ITS  
**Academic Advisor** : Ir. Hari Subiyanto MSc

## **Abstract**

*Welding of pipes and plate connections should take into account any distortion (deformation) problems occurring during the welding process or after the material cools down. To anticipate the amount of deformation that occurs one of them is the determination of the use of the shape and angle of the groove.*

*In the final project analysis to determine the effect of variation of groove angle (500,600,700) on FCAW welding to distortion and residual stress using finite element method of SS 400 steel material*

*From the results of the analysis obtained the actual deformation of the material with a groove angle 500 has a distortion value of longitudinal direction of 0.58 mm and transversal direction distortion of 0.1 mm, Material with 600 groove angle has a distortion value of longitudinal direction of 1.12 mm and distortion of transversal direction of 0.1 mm. Material with 700 groove angle has a longitudinal distortion value of 1.62 mm and a transversal direction distortion of 0.13 mm. residual stresses are carried out on Materials with groove angle 500, 600, 700 with consecutive values of 439 Mpa 404 MPa and 388 MPa*

**Keyword:** Distortion, residual stress, FCAW welding, groove angle

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dengan segala keterbatasannya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Dalam terselesaikannya tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu secara moral maupun materi, yakni:

1. **Bapak Ir. Hari Subiyanto MSc.** selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan bimbingan terkait dengan tugas akhir.
2. **Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT.** selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS.
3. **Bapak Ir. Suhariyanto, MSc.** selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS.
4. **Para Dosen Penguji** selaku dosen yang memberikan kritik, saran, serta masukan yang sangat bermanfaat untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
5. **Ibu dan Ayah** yang selalu memberikan do'a dan memotivasi saya. Tanpa do'a dan motivasi beliau, penulis tidak bisa menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
6. **Seluruh Dosen dan Karyawan** yang telah banyak membimbing penulis dalam menggali ilmu di Departemen Teknik Mesin Industri ITS.
7. **Seluruh teman** yang selalu memberikan support penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
8. Semua pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan do'a, bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.



Penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhirnya, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I</b>	
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Manfaat Penulisan .....	3
<b>BAB II</b>	
DASAR TEORI .....	5
2.1 Baja Struktural JIS G3101-SS400 .....	5
2.2. Pengelasan FCAW ( Flux-Cored Arc Welding ).....	6
2.3. Metalurgi Las.....	8
2.3.1. Daerah hasil pengelasan.....	8
2.4 Tegangan Sisa.....	9
2.4.1. Faktor-faktor yang mempengaruhi tegangan sisa	11
2.4.2 Distribusi Tegangan Sisa pada proses pengelasan	12
2.4.3 Pengukuran tegangan sisa.....	14
2.5 Distorsi .....	15
2.5.1. Jenis-jenis distorsi .....	15
2.5.2. Faktor – faktor yang mempengaruhi Distorsi .....	17
2.5.3. Pengendalian Distorsi .....	18
2.6 Metode Elemen Hingga (MEH) .....	21
2.7 Jenis Jenis bentuk kampuh las .....	22
<b>BAB III</b>	
METODOLOGI PENELITIAN .....	25
3.1. Diagram Alir Penelitian .....	25
3.2. Penjelasan Diagram Alir Penelitian .....	
3.2.1 Survey .....	26

3.2.2 Studi Literatur .....	26
3.2.3 Persiapan Spesimen dan Alat .....	26
3.1.4 Proses Pengelasan .....	32
3.1.5 Pengukuran deformasi secara aktual .....	34
3.1.6 Simulasi menggunakan Ansys .....	35
<b>BAB IV</b>	
ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	43
4.1 Parameter Pengelasan .....	43
4.2 Pengujian pengukuran distorsi .....	45
4.2.1 Pengukuran distorsi material sudut groove 50° .....	46
4.2.2 Pengukuran distorsi material sudut groove 60° .....	46
4.2.3 Pengukuran distorsi material sudut groove 70° .....	47
4.3 Analisa Hasil Pengukuran distorsi .....	47
4.4 Pemodelan ANSYS .....	52
4.5 Analisa Hasil Pemodelan Ansys .....	53
4.5.1 Hasil Pemodelan Material Sudut Groove 50 .....	53
4.5.2 Hasil Pemodelan Material Sudut Groove 60 .....	54
4.5.3 Hasil Pemodelan Material Sudut Groove 70 .....	55
<b>BAB V</b>	
<b>PENUTUP</b>	
5.1. Kesimpulan .....	59
5.2. Saran .....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Skematis Pengelasan FCAW .....	7
Gambar 2.2.	Mikro struktur dari as-cast carbon steel. A-B : Fusion Zone, C-F : HAZ , .....	9
Gambar 2.3.	mekanisme terjadinya tegangan sisa .....	10
Gambar 2.4.	Hubungan antara panjang las dengan tegangan sisa. ....	11
Gambar 2.5	Distribusi tegangan termal .....	12
Gambar 2.6	Jenis-jenis distorsi.....	16
Gambar 2.7.	<i>Overweld</i> .....	19
Gambar 2.8.	<i>Intermittent welding</i> .....	20
Gambar 2.9.	<i>Presetting</i> .....	20
Gambar 2.10.	macam macam alat bantu jig .....	21
Gambar 2.11	Macam macam kampuh las.....	23
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian .....	25
Gambar 3.2.	Material dengan sudut groove 50 <sup>0</sup> .....	27
Gambar 3.3.	Material dengan sudut groove 60 <sup>0</sup> .....	27
Gambar 3.4.	Material dengan sudut groove 70 <sup>0</sup> .....	28
Gambar 3.5.	Pembuatan bevel dengan sudut 50 <sup>0</sup> .....	29
Gambar 3.6.	Pembuatan bevel dengan sudut 60 <sup>0</sup> .....	29
Gambar 3.7.	Pembuatan bevel dengan sudut 70 <sup>0</sup> .....	30
Gambar 3.8.	Gerinda Tangan .....	39
Gambar 3.9.	Tang Ampere .....	39
Gambar 3.10.	Welding gauge .....	39
Gambar 3.11.	Penggaris .....	39
Gambar 3.12.	Sikat Besi.....	40
Gambar 3.13.	Dial Indicator .....	40
Gambar 3.14.	Stopwatch .....	40
Gambar 3.15.	Metode Pengukuran Deformasi .....	34
Gambar 3.16.	Toolbox pada ANSYS .....	35
Gambar 3.17.	Memasukan gambar pada menu Geometry.....	36
Gambar 3.18.	Engineering Data Material.....	47
Gambar 3.19.	Generate Mesh pada menu Mesh.....	38
Gambar 3.20.	Menu mesh pada project.....	38
Gambar 3.21.	Hasil proses meshing pada material .....	39

Gambar 4.1.	Proses pengukuran distorsi material sudut 50 <sup>0</sup> .....	46
Gambar 4.2.	Proses pengukuran distorsi material sudut 60. ....	46
Gambar 4.3	Proses pengukuran distorsi material sudut 70 .....	47
Gambar 4.4	Gambar gridpoint pengukuran distorsi .....	47
Gambar 4.5.	Grafik hasil pengukuran distorsi material sudut groove 50 <sup>0</sup> .....	50
Gambar 4.6.	Grafik hasil pengukuran distorsi material sudut groove 60 <sup>0</sup> .....	50
Gambar 4.7.	Grafik hasil pengukuran distorsi material sudut groove 70 <sup>0</sup> .....	51
Gambar 4.8	Hasil Simulasi Ansys sudut groove 50 <sup>0</sup> .....	53
Gambar 4.9	Hasil Simulasi Ansys sudut groove 50 <sup>0</sup> .....	55
Gambar 4.10	Hasil Simulasi Ansys sudut groove 50 <sup>0</sup> .....	57

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kompisisi kimia baja JIS G3101 .....	5
Tabel 4.1	Record parameter pengelasan material 1 ....	43
Tabel 4.2	Record parameter pengelasan material 2....	44
Tabel 4.3	Record parameter pengelasan material 3.....	45
Tabel 4.5.	Hasil Pengukuran distorsi groove 50 .....	48
Tabel 4.6.	Hasil Pengukuran distorsi groove 60 .....	48
Tabel 4.7.	Hasil Pengukuran distorsi groove 70 .....	49

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Penyambungan logam dengan sambungan las banyak digunakan dalam berbagai bidang manufaktur dan industri. Di dalam dunia industri sistem perpipaan sangat penting dalam penyaluran fluida ataupun gas. Pengelasan sambungan pipa maupun plat harus memerhatikan adanya masalah distorsi (deformasi) yang terjadi selama proses pengelasan atau setelah material mengalami pendinginan. Proses pengelasan menyebabkan pemanasan tinggi yang tidak merata pada bagian bagian yang akan disambung, kemudian mengalami penurunan suhu secara bertahap. Pemanasan lokal yang tidak merata dan laju pendinginan bertahap menghasilkan penyebaran panas, deformasi dan tegangan sisa.

Timbulnya deformasi perlu menjadi perhatian serius seperti pada sambungan antar pipa yang dialiri. Deformasi yang terlalu besar pada sambungan las akan mengganggu proses produksi dalam suatu industri. Untuk itulah perlu dilakukan simulasi metode elemen hingga (finite elemen methode ) pada tahap desain agar deformasi yang terjadi dalam pengelasan dapat dikurangi.

Pada saat ini ,PT Duta Cipta Pakarperkasa (DCP) adalah salah satu perusahaan yang bergerak di bidang fabrikasi baja mendapat pesanan untuk membuat square dusting sebagai saluran fluida gas pada di sebuah proyek bangunan. Untuk mengantisipasi besarnya deformasi yang terjadi salah satunya adalah penentuan penggunaan bentuk dan sudut groove. Hal tersebut yang mendasari untuk diangkatnya permasalahan ini.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan uraian diatas, pokok permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana hasil deformasi yang terjadi terhadap variasi sudut groove yang berkaitan dengan pengaruh kecepatan las terhadap pengelasan sambungan butt joint pada baja SS 400 ?
2. Bagaimana hasil tegangan sisa yang terjadi terhadap variasi sudut groove pengelasan sambungan butt joint pada baja SS 400 ?
3. Bagaimana hubungan antara deformasi dan tegangan sisa yang terjadi terhadap variasi sudut groove pengelasan sambungan butt joint pada baja SS 400 ?

## **1.3 Batasan Masalah**

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai masalah yang dikaji dalam penulisan tugas akhir ini, maka perlu diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan FCAW (Flux Core Arch Welding)
2. Spesifikasi material yang digunakan adalah baja SS 400
3. Material yang digunakan berdimensi 300 x 100 x 10
4. Pada proses pengelasan menggunakan filler AWS A5.20 E 71 T-1
5. Posisi pengelasan 1 G
6. Analisa tegangan sisa menggunakan metode elemen hingga dengan software ANSYS : Material properties dari weld metal dan base metal diasumsikan sama

## **1.4 Tujuan**

1. Mengetahui hasil deformasi yang terjadi terhadap variasi sudut groove pengelasan sambungan butt joint pada baja SS 400
2. Mengetahui hasil tegangan sisa yang terjadi terhadap v variasi sudut groove pengelasan sambungan butt joint pada baja SS 400
3. Mengetahui hubungan antara deformasi dan tegangan sisa deformasi yang terjadi terhadap variasi sudut groove pengelasan sambungan butt joint pada baja SS 400



## **1.5 Manfaat**

Dari penelitian ini, penulis mengharapkan manfaat dengan memberikan kontribusi pada dunia akademis dan praktisi tentang pengaruh variasi sudut groove pada pengelasan FCAW terhadap distorsi dan tegangan sisa material baja SS 400

## **1.6 Metodologi Penelitian**

Metodologi penelitian yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan Penelitian ini adalah :

### **1. Studi Literatur**

Untuk menambah wawasan perlu studi literatur dengan mempelajari buku-buku tentang pengelasan dan pengujian distorsi, serta pemodelan menggunakan Ansys.

### **2. Konsultasi dengan Dosen Pembimbing**

Dalam penulisan Penelitian ini perlu mengadakan konsultasi atau respon dengan dosen pembimbing.

### **3. Observasi Data**

Melakukan observasi data-data terkait pengelasan dan benda kerja melalui internet dan dari hasil pengamatan langsung dengan masalah yang dihadapi di lapangan.

### **4. Analisa Data**

Menganalisa hasil pengujian distorsi secara aktual dengan pemodelan menggunakan Ansys

### **5. Membuat Kesimpulan**

Setelah menyelesaikan laporan Penelitian dapat diambil kesimpulan tentang hasil dari proses dan analisa tersebut.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran penjelas mengenai bagian – bagian tugas akhir, diantaranya:

## **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk mencapai tujuan tugas akhir ini.

## **BAB III METODOLOGI**

Bab ini berisi metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi alat dan bahan, serta langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

## **BAB IV HASIL DAN ANALISA**

Membahas tentang hasil pengujian diantaranya adalah pengujian kekerasan dan pengujian metalografi.

## **BAB V PENUTUP**

Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisis dan saran-saran penulis dalam penyusunan tugas akhir.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Berisi tentang referensi – referensi yang terkait dengan materi pembahasan berupa buku, jurnal tugas akhir terdahulu, maupun website yang dijadikan acuan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

## **LAMPIRAN**

## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 2.1 Baja Struktural JIS G3101-SS400

Baja Struktural JIS G3101-SS400 komposisinya hampir sama dengan ASTM A 36 dan termasuk ke dalam *Mild Steels*. Komposisi dari *Mild Steels* umumnya terdiri dari 0.25% C, 0.4-0.7% Mn, 0.5% Si, dan sedikit sulfur, fosfor, dan unsur lain yang tersisa. Mangan di dalam baja ini berfungsi sebagai stabilisasi sulfur, silikon berfungsi sebagai deoksidasi, dan karbon berfungsi sebagai penguat pada baja jenis ini. *Mild Steels* umumnya digunakan pada produk *as-rolles*, *forged*, atau *annealed*. Di dalam dunia industri saat ini, JIS G3101-SS400 banyak digunakan untuk menggantikan ASTM A 36 karena lebih mudah dicari.

*Mild steel* yang banyak dipakai adalah kategori *low carbon* ( $C < 0.08\%$  dan  $Mn \leq 0.4\%$ ) yang umumnya untuk *forming* dan *packaging*. *Mild steels* dengan kandungan karbon dan mangan yang lebih tinggi juga digunakan untuk produk struktural seperti pelat, lembaran, batangan, dan *structural sections*.

Komposisi kimia dari baja JIS G3101 dan ASTM A 36 diperlihatkan pada table 2.1

Tabel 2.1 Komposisi Kimia baja JIS 3101-SS400

Classification		Chemical Compositions				
		C (max) C	Si (max) SI	Mn MN	P (max) P	S (max) S
JIS G310 1	SS 400	-	-	-	0.05	0.05
	SS 490	-	-	-	0.05	0.05
	SS 540	0.3	-	1.6 max	0.04	0.04
AST M	A 36	0.26	0.4	0.6 – 0.9	0.04	0.05

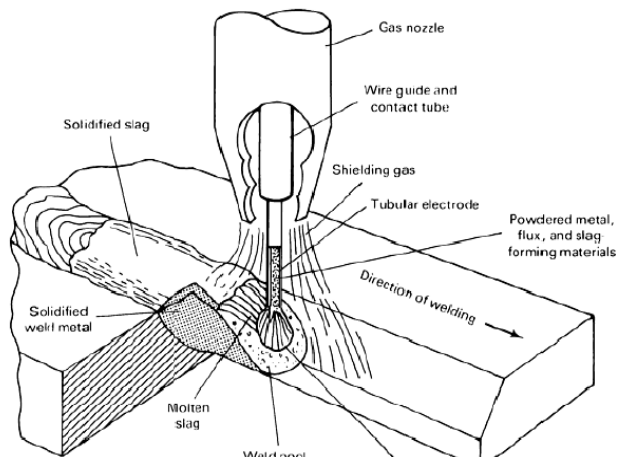
(Sumber : Abdillah Einstein, 2010)

## 2.2 Pengelasan FCAW ( Flux-Cored Arc Welding )

Pengelasan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) adalah proses pengelasan busur listrik yang tercipta antara elektroda terumpan dan *weld pool* dengan menggunakan pelindung berupa *fluks* yang terdapat di dalam elektroda yang berongga, dimana prosesnya dilakukan tanpa tekanan dan dapat diberi tambahan gas CO<sub>2</sub> sebagai pelindung . Pada dasarnya proses pengelasan FCAW memiliki prinsip yang sama seperti proses pengelasan *Gas Metal-Arc Welding* (GMAW). Perbedaannya adalah elektroda (kawat las) yang diisi dengan *fluks* (kemudian disebut dengan *flux-core*). Elektroda inti menghasilkan busur listrik yang lebih stabil, memperbaiki garis bentuk lasan dan menghasilkan sifat-sifat mekanik yang baik dari logam lasan. Fluks dalam elektroda

ini lebih fleksibel dari pada pelapisan yang rapuh/getas yang digunakan pada elektroda SMAW (*Shielded Metal-Arc Welding*), sehingga elektroda yang berbentuk pipa dapat disediakan dalam bentuk gulungan yang panjang pada suatu rol.

Proses pengelasan FCAW ini merupakan proses semi otomatis dan dapat disebut juga sebagai kombinasi SMAW, GMAW dan SAW.



Gambar 2.1 Skematis Pengelasan FCAW  
(Sumber : Abdillah Einstein, 2010)

Dalam proses FCAW, kawat pengisi-fluks dimasukkan secara otomatis melalui gagang las (*torch*), dengan menggunakan peralatan yang tipenya sama dengan yang digunakan untuk GMAW. *Fluks* yang berada di bagian dalam kawat menimbulkan terak yang melindungi lasan dari atmosfer. Penambahan gas pelindung berfungsi untuk melindungi daerah lasan. FCAW bersifat ekonomis karena prosesnya dapat dilakukan dengan kecepatan yang tinggi. Hal seperti ini sesuai

untuk pengelasan pada posisi yang sulit (*out-of-position*) serta dengan ketebalan logam yang bervariasi.

Pengelasan FCAW ini memiliki beberapa keunggulan antara lain adalah mempunyai kecepatan deposisi yang lebih tinggi dari SMAW dan GMAW, dapat digunakan dalam berbagai posisi las dan lebih efisien serta ekonomis dibandingkan dengan MIG. Sedangkan kelemahan yang ada pada las FCAW ini adalah terak (slag) harus dibersihkan antar *pass*-nya, terdapat banyak asap, dan kemungkinan dapat terjadinya inklusi terak.

### 2.3 Metalurgi Las

Pada proses pengelasan, terjadi beberapa reaksi seperti reaksi peleburan dan reaksi pembekuan logam pada daerah kampuh las dan sebagian logam induk yang disebabkan oleh panas dari proses pengelasan itu sendiri. Reaksi-reaksi yang terjadi tersebut mempengaruhi pembentukan fasa pada deposit las dan daerah terpengaruh panas yang pada akhirnya akan mempengaruhi sifat fisik dan sifat mekanis dari lasan.

#### 2.3.1 Daerah hasil pengelasan

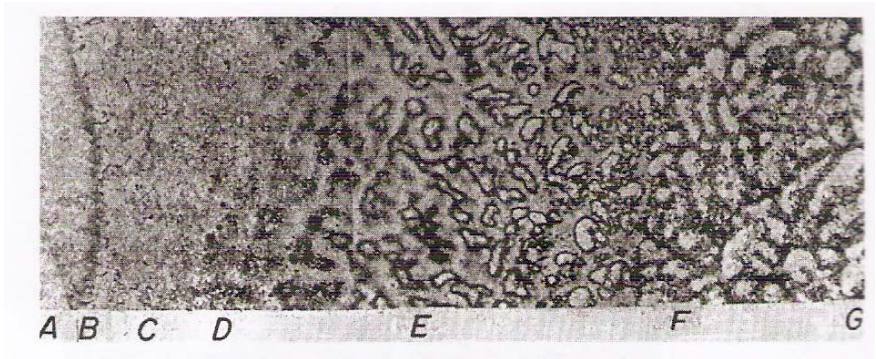
Daerah hasil pengelasan dapat dibagi menjadi 3 daerah utama yaitu:

- a. *Weldpool* (*kampuh las*)
- b. *Heat affected Zone* (daerah terpengaruh panas)
- c. Logam dasar yang tidak terpengaruh (*base metal*)

*Weldpool* adalah daerah yang mengalami proses pengelasan sehingga di daerah tersebut mengalami proses pencairan dan kemudian membeku. *Heat affected zone*

(HAZ) adalah daerah yang bersebelahan dengan *weldpool* tetapi tidak ikut mencair ketika proses pengelasan. Daerah ini hanya mengalami proses pemanasan dan pendinginan yang berakibat pada perubahan butir. Sedangkan *base metal*

adalah logam induk dari material yang dilas dimana panas hasil dari pengelasan tidak mempengaruhi mikrostruktur dari logam induk.



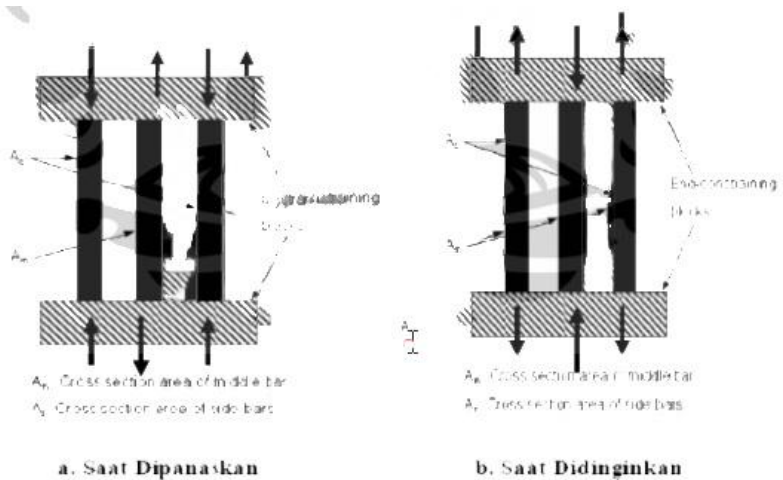
Gambar 2.2 Mikro struktur dari as-cast carbon steel.

A-B : Fusion Zone, C-F : HAZ , G ; Base metal<sup>[3]</sup>

(Sumber : Abdillah Einsten, 2010)

## 2.4 Tegangan Sisa

Pada proses pengelasan terjadi pemanasan yang terpusat serta distribusi temperaturnya tidak seragam. Oleh karenanya timbul apa yang dinamakan *Residual Stress* (Tegangan Sisa). *Residual stress* yang timbul menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan mekanis konstruksi las. Oleh karena itu sebisa mungkin masalah *residual stress* ini harus dihindari. Mekanisme terjadinya *residual stress* pada material dapat diilustrasikan seperti terlihat dalam Gambar 2.4



Gambar 2.3. Ilustrasi mekanisme terjadinya tegangan sisa  
(Sumber : Abdillan Einsten, 2010)

Dari Gambar.2.4. tersebut terlihat bahwa batang  $A_m$  atau yang terletak di bagian tengah dipanaskan pada suhu tertentu, sedangkan batang  $A_s$  tidak mengalami pengaruh panas. Pada saat dipanaskan, batang  $A_m$  mengalami pemuaian, namun di tahan oleh batang  $A_s$ , sehingga dapat dikatakan bahwa batang  $A_m$  menghasilkan tegangan tekan, sedangkan batang  $A_s$  mengalami tegangan tarik. Saat didinginkan kembali sampai temperature kamar, batang  $A_m$  mengalami penyusutan namun ditahan oleh batang  $A_s$ . Pada saat ini batang  $A_m$  berubah mengalami tegangan tarik, sementara batang  $A_s$  mengalami tegangan tekan. Pada temperature kamar dapat dikatakan bahwa Batang  $A_m$  mempunyai tegangan dalam tarik, sementara batang  $A_s$  mempunyai tegangan dalam tekan.

Walaupun begitu, tegangan sisa dalam proses pengelasan agak sedikit berbeda dan lebih rumit untuk menjelaskannya bila dibandingkan dengan ilustrasi pada gambar 2.4 tersebut. Hal ini



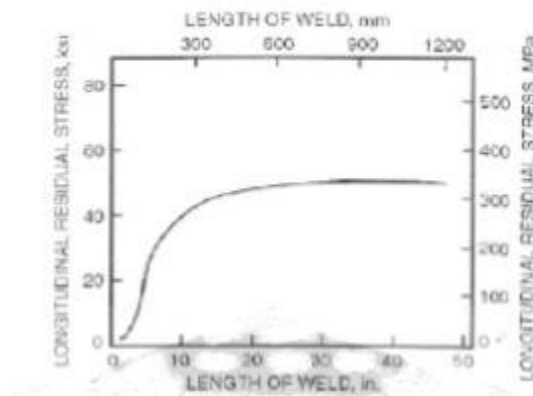
disebabkan karena distribusi temperatur pada daerah las itu tidak seragam.

#### 2.4.1 Faktor-faktor yang mempengaruhi tegangan sisa

Beberapa faktor yang mempengaruhi besar tegangan sisa dalam sambungan las adalah :

- a. Ukuran material yang dilas
- b. Urutan pengelasan ( *Welding Sequence* )
- c. Bentuk sambungan ( *Joint design* )

Untuk ukuran material yang paling berpengaruh adalah panjang las dan ketebalan material yang di las. Hubungan antara panjang pengelasan dengan besarnya tegangan sisa yang terjadi dapat dilihat pada Gambar. 2.5 dibawah ini.



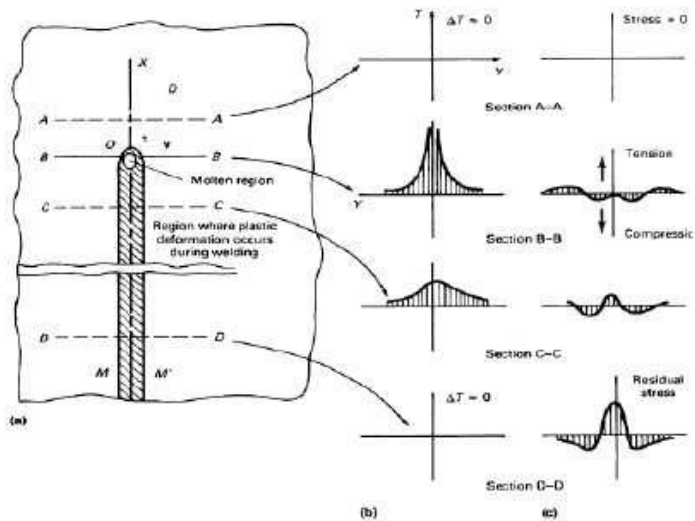
Gambar 2.4 Hubungan antara panjang las dengan tegangan sisa  
(Sumber : Abdillah Einstein, 2010)

Selain dimensi material yang di las, urutan pengelasan juga merupakan faktor penting dalam menentukan besar kecilnya nilai tegangan sisa sambungan . Pengatur an urutan las yang b

aik akan menurunkan nilai akhir tegangan sisa sambungan.. Faktor terakhir yang dapat mempengaruhi nilai akhir tegangan sisa sambungan las adalah bentuk sambungan. Semakin rumit bentuk sambungan maka tegangan sisa yang terbentuk juga akan sulit untuk diperhitungkan.

#### 2.4.2 Distribusi Tegangan Sisa pada proses pengelasan

Pada proses pengelasan , logam induk mengalami pemanasan yang berbeda-beda tergantung pada posisinya . Semakin jauh dari daerah lasan maka pemanasan yang timbul juga akan semakin kecil.



Gambar 2.5 Distribusi tegangan termal  
(Sumber : Abdillah Einstein, 2010)

Gambar 2.6.a. memperlihatkan jalannya proses pengelasan yang dilakukan sepanjang garis X-X kemudian

berhenti pada titik O. Sementara pada Gambar 2.6.b. memperlihatkan perubahan temperatur yang terjadi selama proses pengelasan. Sedangkan pada Gambar 2.6.c memperlihatkan perubahan tegangan yang terjadi sepanjang proses pengelasan. Area M-M' adalah daerah terjadinya deformasi plastis. Area A-A adalah daerah di atas dari sumber panas dan belum terpengaruh panas secara signifikan. Perubahan temperatur pada daerah ini karena pengelasan,  $\Delta T$ , adalah nol. Area B-B adalah daerah persimpangan dari pusat panas, distribusi temperatur pada daerah ini agak berbeda jauh dan tidak teratur. Sedangkan disepanjang daerah C-C yang merupakan daerah agak dibelakang dari pusat panas, distribusi temperatur tidak terlalu tinggi bila dibandingkan dengan daerah B-B dan distribusi temperatur akan semakin seragam dengan semakin jauh daerah dari pusat panas seperti yang ditunjukkan daerah D-D

Panas yang dihasilkan selama proses pengelasan menghasilkan tegangan di sepanjang arah longitudinal.

Distribusi perubahan tegangan selama proses pengelasan pada titik A-A karena tidak ada perubahan temperature maka tidak terlihat adanya perubahan tegangan. Pada titik B-B distribusi tegangan sedikit terlihat karena adanya perubahan temperatur, tegangan tekan pada daerah sekitar logam las terjadi karena adanya pemuaian logam pada daerah HAZ . Pada titik C-C logam las yang tadinya mencair mulai membeku dan menyusut menyebabkan pada daerah tersebut mengalami tegangan tarik cukup besar dan titik yang lebih jauh mengalami tegangan tekan. Pada titik D-D yang sudah dingin perubahan tegangan semakin terlihat dimana daerah logam las mengalami tegangan tarik dan daerah yang sedikit jauh darinya mengalami tegangan tekan.

#### 2.4.3 Pengukuran tegangan sisa

Tegangan sisa pada suatu material dapat dihitung nilainya dengan menggunakan beberapa teknik. Prinsip dasar dari pengukuran tegangan sisa ini adalah berdasarkan “Hukum Hooke”. “Hukum Hooke” mengatakan bahwa perubahan ukuran suatu material disebabkan karena adanya tegangan. Oleh karena itu, tegangan sisa dapat diukur oleh alat yang dapat mengukur perubahan ukuran suatu material. Karena tegangan yang ada bersifat mikro, maka perubahan ukuran yang terjadi juga dalam ukuran mikro . Sehingga diperlukan alat yang dapat mengukur pada skala mikro. Cara yang umum digunakan untuk mengukur tegangan sisa dibagi menjadi 4 bagian ya itu<sup>[6]</sup> :

##### a. Metode pembebasan tegangan

Metode ini terdiri dari berbagai macam teknik, yang secara umum memiliki prinsip dengan melakukan pembebasan tegangan pada material dengan cara memotong, membuat lubang, atau menghilangkan permukaan material. Teknik yang biasa digunakan antara lain : *hole drilling* dan *ring core methods, layer removal method, sectioning method*.

##### b. Metode difraksi

Metode ini menggunakan sinar-x atau neutron untuk mengukur perubahan jarak pada bidang antar kisi dari kristal.

##### c. Metode yang menggunakan kepekaan terhadap regangan

Metode ini menggunakan ultrasonik atau magnetik untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi di dalam material yang mengalami tegangan sisa kemudian dibandingkan dengan material tanpa tegangan.

##### d. Metode retak

Metode ini dapat dilakukan pada material yang mengalami retak akibat *Hidrogen Induced Cracking* atau *Stress corrosion cracking*

## **2.5 Distorsi**

Salah satu dampak dari tegangan sisa yang terjadi dalam proses pengelasan adalah terjadinya perubahan bentuk yang biasa disebut distorsi. Mekanisme terjadinya distorsi pada proses pengelasan adalah dimulai saat terjadinya proses pendinginan logam las. Sifat dasar dari logam cair adalah akan menyusut saat didinginkan atau saat pembekuan . Akibat adanya proses penyusutan ini maka terjadi tegangan yang sangat besar pada daerah disekitarnya dan jika nilainya melebihi nilai yield point logam induknya maka akan terjadi apa yang dinamakan distorsi.

### **2.5.1.Faktor Penyebab Distorsi Las**

Ada penyebab utama distorsi yang sering terjadi pada pengelasan logam, yaitu :

#### **1. Tegangan Sisa**

Tegangan sisa adalah seluruh bahan logam yang digunakan dalam industri misalnya batangan, lembaran atau yang lain yang diproduksi dengan proses menahan tegangan di dalam bahan. Tegangan sisa ini tidak selalu menimbulkan masalah, namun jika bahan kerja menerima panas akibat pengelasan atau pemotongan dengan panas, maka tegangan sisa akan menghilang secara tidak merata dan akan terjadi distorsi.

#### **2. Pengelasan Atau Pemotongan Dengan Panas**

Ketika melakukan proses mengelas atau memotong menggunakan api, sumber panas dari nyala busur akan mengakibatkan pertambahan panjang dan penyusutan tidak merata dan distorsi.

### **2.5.1 Jenis-jenis distorsi**

Ada beberapa jenis distorsi yang biasa terjadi dalam proses pengelasan. Masing-masing jenis dibedakan berdasarkan perubahan bentuk yang terjadi dan penyebabnya yaitu<sup>[7]</sup> :

1. *Transverse Shrinkage*

Distorsi ini disebabkan arah penyusutan logam las tegak lurus dengan arah pengelasan. Akibat penyusutan logam las ini plat disekitar logam las tertarik ke tengah.

2. *Longitudinal Shrinkage*

Distorsi ini disebabkan arah penyusutan searah dengan arah pengelasan. Besar *longitudinal shrinkage* adalah sekitar 1/1000 panjang las.

3. *Angular Distortion*

Distorsi angular dapat terjadi pada sambungan tumpul ( *butt joint* ) dan sambungan T ( *fillet joint*). Pada sambungan tumpul ( *butt joint* ) distorsi angular terjadi jika transverse shrinkage tidak seragam kearah tebal plat. Sedangkan pada sambungan T ( *fillet*), perubahan bentuk yang terjadi tergantung berapa banyak dan kuat penahan yang ada.

4. *Longitudinal Bending/ Bowing*

merupakan distorsi yang disebabkan oleh longitudinal shrinkage. Hal ini terjadi akibat penyusutan yang tidak merata pada arah longitudinal yang menyebabkan struktur melengkung.

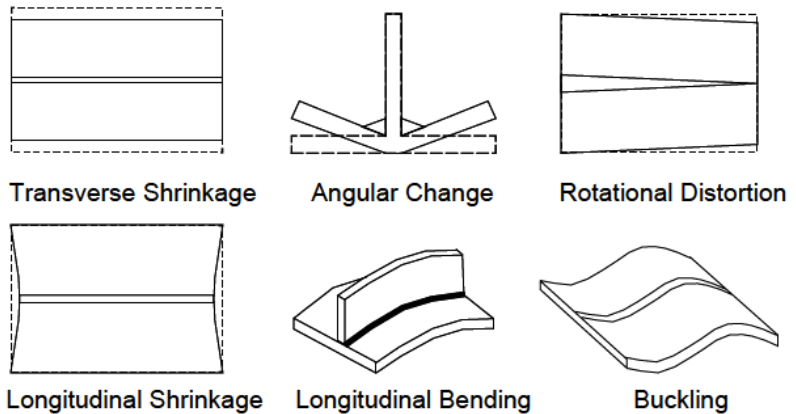
5. *Rotational Distortion*

Distorsi ini terjadi akibat perbedaan penyusutan yang terjadi di daerah sepanjang pengelasan. Distorsi ini dipengaruhi oleh masukan panas dan kecepatan pengelasan.

6. *Buckling*

buckling adalah merupakan distorsi yang terjadi karena ukuran material yang dilas tipis. Umumnya terjadi pada pelat dengan ketebalan kurang dari 10 mm. Hal ini

disebabkan tegangan tekan longitudinal yang terjadi pada daerah lasan nilainya jauh lebih besar dari CBL (*critical buckling load*) struktur.



Gambar 2.6 Jenis-jenis distorsi  
(Sumber : Abdillah Einsten, 2010)

### 2.5.2 Faktor – faktor penyebab Distorsi

Faktor utama yang mempengaruhi jenis dan besar distorsi dapat dikelompokkan kedalam beberapa kelompok seperti<sup>[5]</sup> : Sifat fisik logam induk ( *Physiscal properties of parent metal* )

Sifat fisik logam induk yang mempengaruhi besar kecilnya distorsi adalah;

- Koeffisien muai panas, semakin tinggi nilai koeffisien maka distorsi yang terjadi makin besar.
- Panas jenis, semakin tinggi maka distorsi semakin besar.
- Koeffisien daya hantar panas, semakin tinggi maka semakin besar distorsi yang timbul.
- Yield point* dan *yield point* pada temperatur tinggi. Untuk material yang memiliki nilai *yield point* tinggi

maka distorsi akan lebih kecil dibandingkan dengan material yang memiliki *yield point* rendah. Namun tegangan sisa yang terjadi setelah pengelasan lebih tinggi dibanding dengan material yang memiliki *yield point* rendah.

- e. Titik cair ( *melting point* ). Untuk material yang memiliki titik cair tinggi maka distorsi yang terjadi besar.

## 2. Jumlah penguat/penahan

Untuk sambungan las yang memiliki penguat atau penahan yang cukup besar akan menyebabkan distorsi lebih kecil dibandingkan dengan sambungan yang penahannya kecil. Namun memiliki tegangan sisa yang lebih besar.

## 3. Bentuk sambungan

Bentuk dan desain sambungan las sangat berpengaruh sekali terhadap besar kecilnya distorsi. Semakin besar volume dari sambungan las tersebut maka distorsi yang terjadi semakin besar karena penyusutan logam cair saat membeku berbanding lurus dengan volumenya.

## 4. Pemasangan komponen

Cara pemasangan komponen yang baik seperti jarak satu komponen dengan komponen diatur sedekat mungkin akan menghasilkan distorsi yang kecil. Biasanya dalam prakteknya jarak yang diinginkan adalah sekitar 2 – 3 mm.

## 5. Proses pengelasan

Pada proses pengelasan, pengaturan parameter seperti besar arus las, tegangan dan kecepatan pengelasan sangat penting karena akan mempengaruhi besar kecilnya panas yang masuk ( *Heat input* ). Semakin besar nilai *heat input* maka semakin besar juga distorsi yang timbul. Besar *heat input* dapat di hitung berdasarkan rumus dibawah :



$$\text{Heat Input : } \mathbf{HI} = \frac{\mathbf{V \times I \times 60}}{\mathbf{s}}$$

Dimana: HI = Masukan panas atau energi (J/mm )

I = Arus ( Ampere )

V = Voltase ( Volt )

s = Kecepatan pengelasan ( mm/s )

Selain pengaturan parameter , urutan pengelasan ( *welding sequence* ) juga perlu diperhatikan. Urutan pengelasan yang tidak seimbang akan menyebabkan distorsi yang tinggi juga. Yang terakhir perlu diperhatikan adalah temperature pemanasan awal. Temperatur pemanasan awal yang kurang tinggi akan menyebabkan distorsi yang besar.

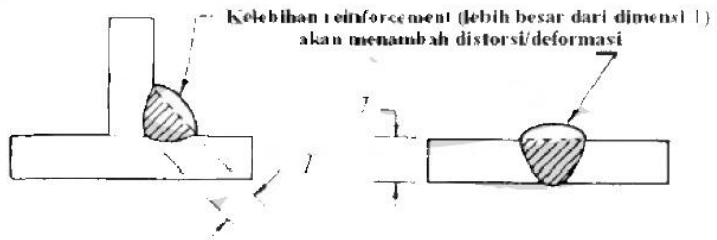
### 2.5.3 Pengendalian Distorsi

Untuk mengendalikan distorsi dapat digunakan beberapa metode termasuk desain dan selama pengelasan yang menghasilkan siklus pemanasan dan pendinginan. Penyusutan tidak dapat dicegah tetapi dapat dikendalikan. Beberapa cara yang digunakan untuk meminimalisir distorsi adalah :

1. Tidak membuat ukuran yang berlebihan.

*Reinforcement* yang berlebihan (lebih besar dari T akan menambah terjadinya distorsi /deformasi. Dalam hal ini semakin banyak logam yang ditambahkan pada sambungan maka akan semakin besar gaya penyusutannya yang terjadi.

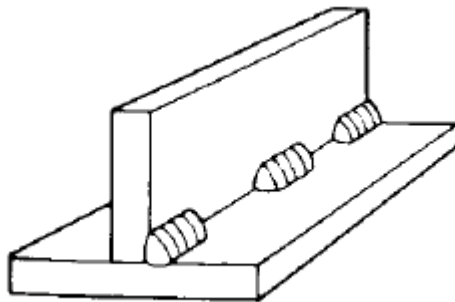
Adapun ilustrasi dari *reinforcement* yang berlebihan dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 *Overweld*  
(Sumber : Abdillah Einsten, 2010)

## 2. Menggunakan pengelasan melompat

Metode ini kalau mungkin harus digunakan, akan dapat mengurangi logam las sebanyak 75% dan dapat mengurangi terjadinya distorsi/deformasi. Ilustrasi *intermittenet welding* dapat dilihat pada Gambar 2.8.

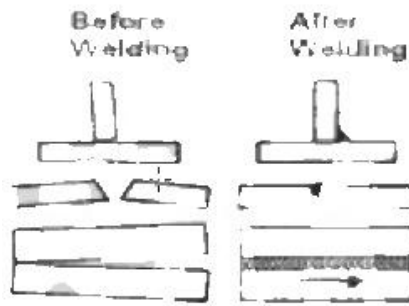


Gambar 2.8 *Intermittenet welding*<sup>[8]</sup>  
(Sumber : Abdillah Einsten, 2010)

## 3. Melakukan *Presetting*

Dengan memanfaatkan posisi material yang dilas sebelum distorsi terjadi. Teknik ini merupakan teknik yang ditentukan dengan melakukan beberapa percobaan untuk mengetahui arah distorsi. Menggunakan gaya mekanik yang berlawanan dengan arah distorsi pada saat dilakukan pengelasan sehingga hasil akhir sesuai dengan posisi yang diinginkan.

Contoh ilustrasi dari penggunaan *presetting* dapat dilihat pada Gambar 2.9.

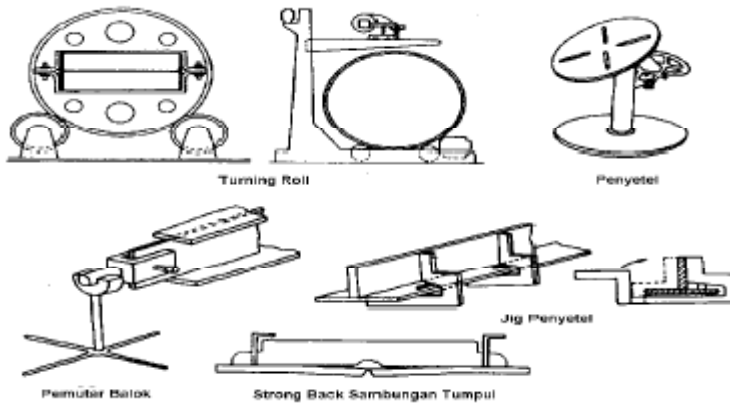


Gambar 2.9 *Presetting*  
(Sumber : Abdillah Einsten, 2010)

#### 4. Menggunakan Jig

Berfungsi sebagai penahan arah distorsi pada saat pengelasan. Dengan penahan diharapkan distorsi yang dihasilkan dapat dikendalikan sehingga produk akhir hasil pengelasan masih sesuai dengan yang diinginkan.

Ilustrasi macam-macam alat bantu dapat dilihat pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 Macam macam jig pengelasan  
(Sumber : Abdillah Einstein, 2010)

## 2.6 Pengertian & Analisa Metode Elemen Hingga

### 2.6.1 Pengertian Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga adalah cara numerik dalam menyelesaikan masalah pada ilmu rekayasa dan matematika fisik. Cakupan penyelesaian dari kedua masalah ini berupa analisis struktur, transfer panas, aliran fluisa, transportasi masa depan, dan potensial elektromagnetik.

Metode Elemen Hingga didasarkan pada representasi badan atau system struktur yang dirakit dari elemen elemen badan/system. Elemen – elemen ini membentuk suatu jaringan elemen melalui hubungana/sambungan dititik titik nodal elemen. Umumnya fungsi perpindahan yang ditetapkan bagi pendekatan variasi perpindahan disetiap elemen adalah fungsi polinomial. Persamaan kesetimbangan bagi elemen didapat dari prinsip energy potensial minimum

Persamaan ini diformulasikan bagi system atau badan keseluruhanya dengan perakitan persamaan elemen elemen dalam system koordinat struktur sedemikian rupa sehingga terpenuhi kontinuitas perpindahan di titik titik nodal. Dari

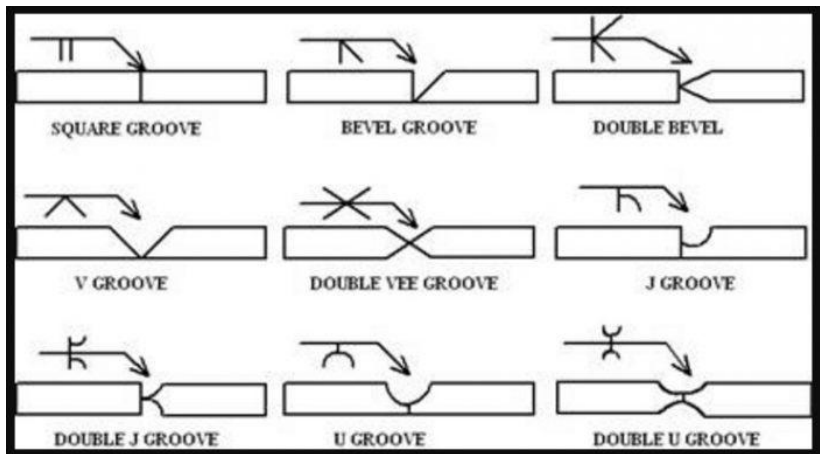
syarat – syarat batas system struktur/badan yang harus terpenuhi, maka diperoleh perpindahan yang terjadi di titik titik nodal elemen

#### 2.6.2 Analisa Elemen Hingga

Elemen yang umum digunakan dalam analisis struktur ditetapkan dari tanggap system struktur terhadap beban luar. Dari unsur – unsur elemen yang telah diuraikan, metode elemen hingga merupakan proses permodelan system struktur menggunakan elemen elemen yang dirakit disebut elemen hingga. Setiap elemen yang dirakit secara langsung maupun tidak langsung pada setiap elemen lainya melalui nodal nodal diujung elemen, permukaan atau perbatasan dengan menggunakan sifat sifat tegangan atau regangan yang diketahui bagi bahan struktur. Dengan cara ini, maka dapat ditentukan perilaku nodal nodal dalam suatu system struktur. Total persamaan perilaku dari setiap nodal menghasilkan satu seri persamaan aljabar yang dinyatakan dalam notasi matriks. Langkah langkah bagi formulasi dan solusi metode elemen hingga dipahami secara khusus membahas tipe elemen elemen system struktur, seperti elemen batang aksial, elemen balok, elemen tegangan bidang, elemen tegangan aksimetrik, elemen tegangan ruang dan transfer panas

#### 2.7 Jenis – Jenis Bentuk Kampuh Las

Sambungan butt joint adalah jenis sambungan tumpul, dalam aplikasinya jenis sambungan ini terdapat berbagai macam jenis kampuh atau groove yaitu V groove (kampuh V), single bevel, J groove, U Groove, Square Groove

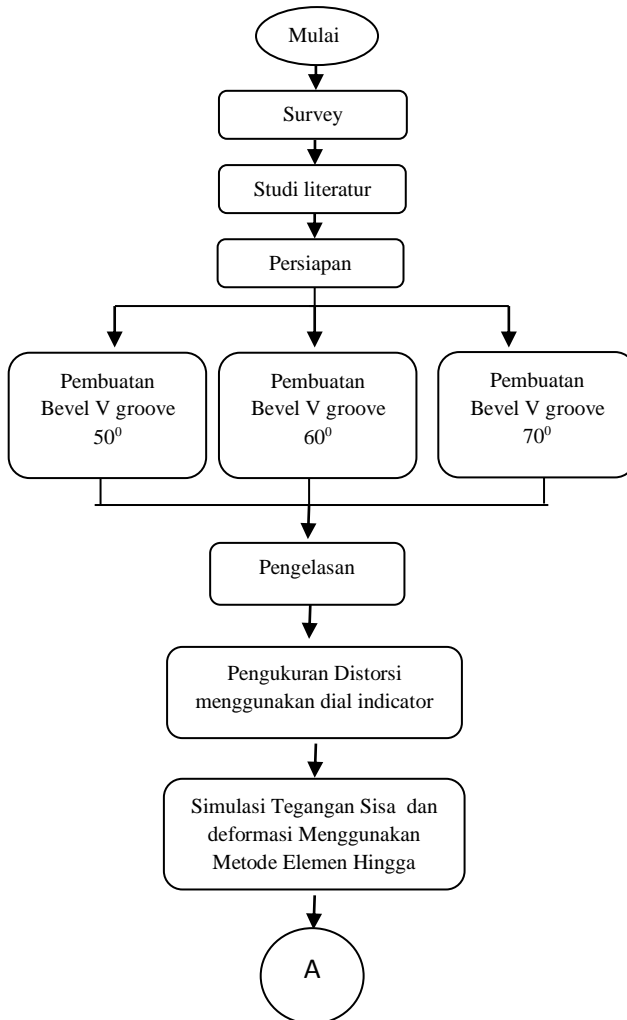


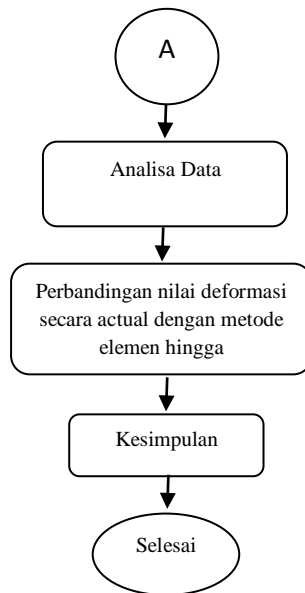
Gambar 2.11 Macam macam kampuh las  
([www.Pengelasan.net](http://www.Pengelasan.net))

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Proses Pengerjaan Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan pada percobaan ini berdasarkan flowchart yang ditunjukkan :





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Langkah – langkah dan metode yang digunakan untuk menyelesaikan peneltian ini adalah sebagai berikut :

#### 3.2.1 Survey

Pada tahap ini dilakukan identifikasi beberapa permasalahan yang didapatkan pada saat melakukan pengamatan sehingga bisa dilakukan sebuah penelitian. Kemudian dilakukan penetapan tujuan tentang apa yang ingin dicapai dan manfaatnya bagi pihak terkait serta bagi penelitian selanjutnya. Tahap ini merupakan dasar tentang apa yang dilakukan selama penelitian.

#### 3.2.2 Studi Literatur

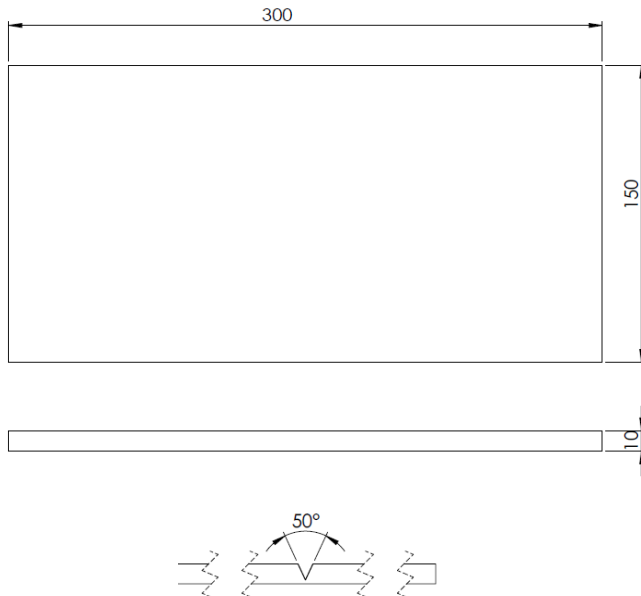
Studi Literatur digunakan untuk mengetahui teori-teori dasar yang menunjang dalam pemilihan tugas akhir dan sevgai acuan dalam menunjang hipotesa dan kesimpulan yang diambil. Studi literatur berfungsi sebagai bekal dan



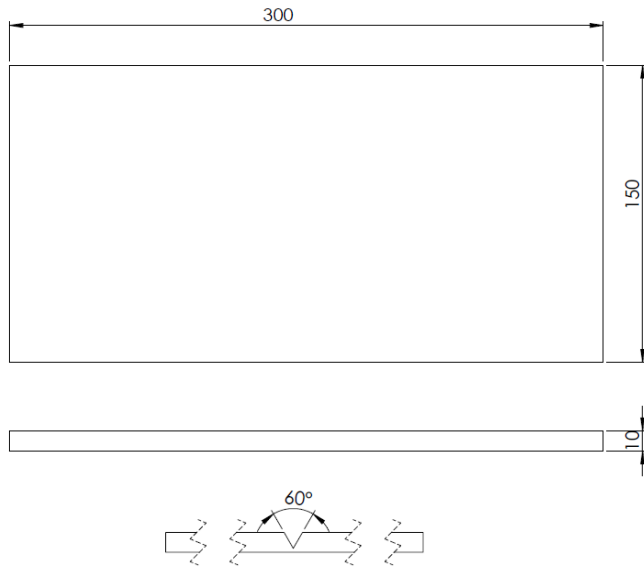
pengetahuan awal untuk menentukan arah pengerjaan tugas akhir ini. Dalam studi literatur ini juga digunakan untuk mencari data tentang material spesimen, pengelasan, serta mekanisme uji deformasi dengan metode elemen hingga.

### 3.2.3 Persiapan Spesimen dan Alat

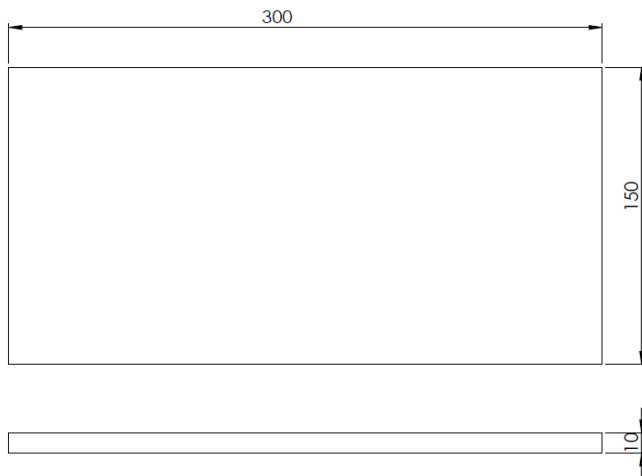
Material yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah SS 400 yang berbentuk plat dengan ukuran 300 x 100 x 10 sebanyak 3 buah. Variasi yang digunakan adalah material A1 dengan sudut groove 50°, material A2 dengan sudut groove 60°, dan material A3 dengan sudut groove 70°. Untuk desain sambungan bisa dilihat pada gambar 3.2, gambar 3.3, dan gambar 3.4

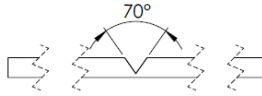


Gambar 3.2 Material dengan sudut groove 50°



Gambar 3.3 Material dengan sudut groove 60<sup>0</sup>





Gambar 3.3 Material dengan sudut groove 70°

Langkah – langkah yang dikerjakan pada tahap persiapan material adalah sebagai berikut :

- a. Pemotongan material SS 400 dengan ukuran dilakukan dengan menandai dan menyesuaikan ukuran benda kerja. Setelah itu material di potong dan rapikan hasil potong dengan menggerinda hasil potongan agar mudah dalam pembuatan bevel
- b. Pembuatan bevel dengan sudut groove 50°, 60°, 70°



Gambar 3.4 Pembuatan bevel dengan sudut 50°



Gambar 3.5 Pembuatn bevel dengan sudut  $60^{\circ}$



Gambar 3.6 Pembuatan bevel dengan sudut  $70^{\circ}$

c. Pengecekan dimensi

Sebelum proses pengelasan dilakukan pengecekan dimensi terlebih dahulu dikarenakan akan mempengaruhi deformasi yang terjadi, alat yang digunakan untuk pengecekan dimensi yaitu penggaris

Pada penelitian digunakan beberapa peralatan yang mendukung kegiatan ini adalah sebagai berikut :

- a. Mesin Las FCAW
- b. Gerinda tangan
- c. Tang Ampere
- d. Welding gauge
- e. Penggaris
- f. Sikat besi
- g. Dial Indicator
- h. Stopwatch



Gambar 3.7 Gerinda Tangan



Gambar 3.7 Tang Ampere



Gambar 3.8 Welding gauge



Gambar 3.9 Penggaris



Gambar 3.10 Sikat Besi



Gambar 3.11 Dial Indicator

### 3.2.4 Proses Pengelasan

#### 3.2.4.1 Pengelasan

Dalam penelitian ini dilakukan proses pengelasan Flux Core Arch Welding di workshop PT. Duta Cipta Perkasi Wringin Anom Gresik. Proses ini dipilih karena efisiensi dan jumlah deposit yang dihasilkan cukup tinggi dan juga disesuaikan dengan keadaan nyata. Jenis sambungan yang digunakan adalah sambungan butt joint dengan bentuk kampuh V groove.

#### 3.2.4.2 Logam Pengisi

Logam pengisi (filler metal) yang digunakan adalah AWS E 71 T diameter 1,2 mm dengan brand name ESAB. Logam pengisi ini mempunyai kekuatan tarik sebesar 70 ksi (70.000 psi) dan dapat digunakan pada semua posisi pengelasan. Karena material yang akan digunakan adalah SS 400 yang mempunyai kekuatan tarik sebesar 69 ksi untuk elektrodanya harus mempunyai kuat tarik yang lebih besar dari material atau kuat tariknya sama.

#### 3.2.4.3 Perhitungan Heat Input

Dari hasil pengelasan didapatkan data-data parameter pengelasan. Dari data-data tersebut didapatkan besar Heat Input pada proses pengelasan. Parameter pengelasan terdiri dari beberapa informasi meliputi jumlah layer, banyak pass, diameter elektroda yang digunakan, mesin las yang digunakan untuk proses pengelasan, besar arus listrik yang dipakai dalam proses pengelasan, besar voltase, dan travel speed

Dari beberapa informasi tersebut dapat digunakan untuk menghitung besar Heat Input pada saat proses pengelasan dengan menggunakan rumus dibawah ini.

$$\text{Heat Input : } \mathbf{HI} = \frac{V \times I \times 60}{s}$$

Dimana: HI = Masukan panas atau energi (J/mm )

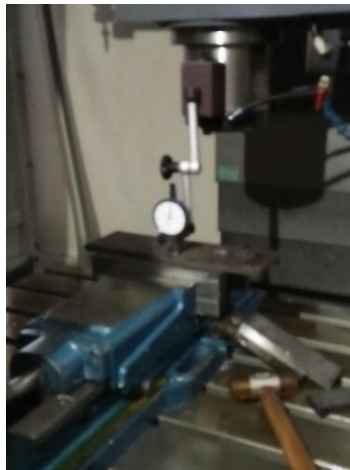
I = Arus ( Ampere )

V = Voltase ( Volt )

s = Kecepatan pengelasan ( mm/s )

### 3.2.5 Pengukuran deformasi secara aktual

Melakukan perhitungan secara manual terjadinya deformasi pada suatu proses pengelasan dapat dilakukan cara metode fixed point dengan menggunakan dial indicator



Gambar 3.12 Metode Pengukuran Deformasi



0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	Y1 0
											Y2 20
											Y3 40
											Y4 60
											Y5 80
											Y6 100

Cara pengukuran deformasi yaitu membuat garis gridline pada benda kerja seperti ditunjukkan gambar diatas. Titik refrensi dipusatkan pada sambungan las ( X6) kemudian dial indicator digeser ke arah kea rah kiri sampai ke ujung benda kerja. Setelah itu dial indicator dikembalikan pada titik refrensi dan digeser ke arah kanan sampai ke ujung benda kerja.

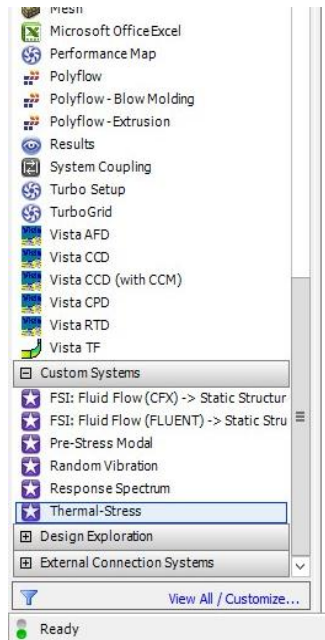
Pada tiap tiap garis perpotongan dicatat besarnya angka yang terindikasi pada dial indicator

### 3.2.6 Simulasi menggunakan Ansys

Tahap selanjutnya dilanjutkan analisa terhadap hasil tegangan sisa dan distribusi temperatur ketiga material dengan software ANSYS

#### 3.2.6.1 Input Gambar dari Solidwork ke ANSYS dan Input Material

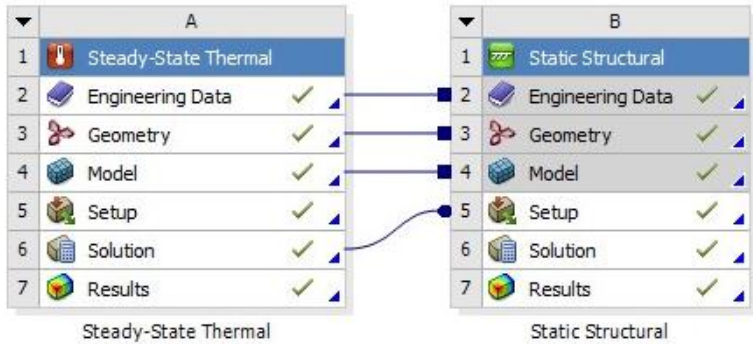
Pertama kita pilih static structural pada menu toolbox . menu static structural kita tarik ke lembar kerja agar bisa digunakan dan setelah itu kita bisa memasukan gambar yang sudah di export dari Solidwork untuk dimasukan pada lembar kerja yang sudah dibuat. Menu ini terdapat pada Analisis System. Pada toolbox seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 3.13 Toolbox pada ANSYS

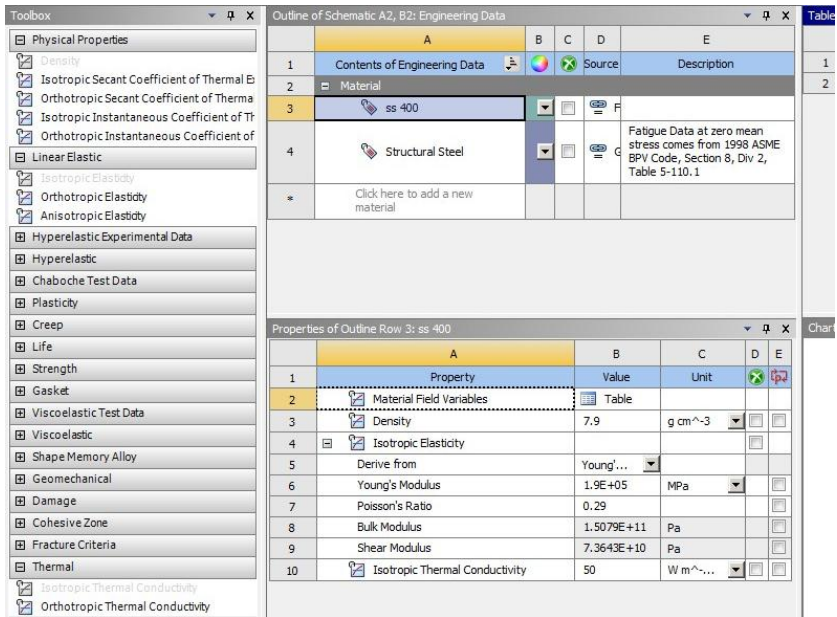
Setelah itu klik pada geometry dan import data yang sudah diexport dari Solidwork maka akan muncul tanda centang pada pilihan geometry. Cara mengambil gambar yang sudah di export dengan cara masuk ke berkas penyimpanan pada komputer dan pilih file yang akan digunakan.

Jika pada menu geometry belum ada tanda centang maka perlu untuk ditunggu hingga ada tanda centang seperti yang ada pada gambar di bawah ini



Gambar 3.14 Memasukan gambar pada menu Geometry

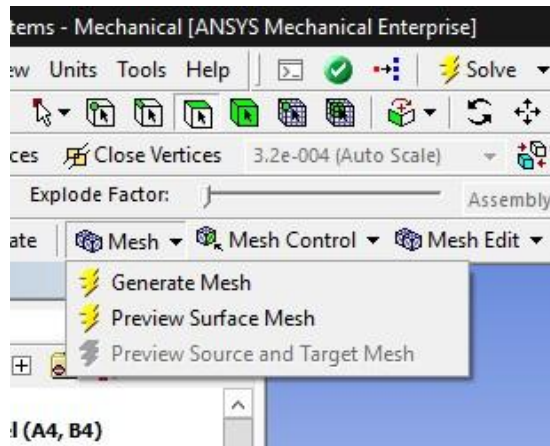
Langkah selanjutnya masukan input material properties pada ANSYS dengan memilih engineering data. Masukan sesuai material yang dipakai adalah SS 400. Maka akan seperti gambar dibawah ini. Pada menu tersebut sudah disisipkan data data tentang properties baja SS 400



Gambar 3.15 Engineering Data Material

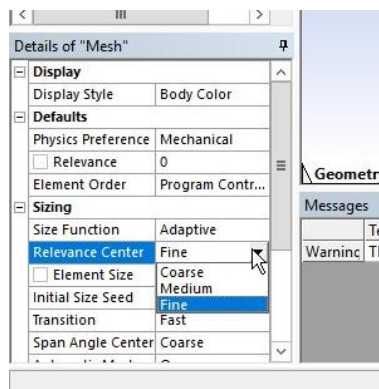
### 3.2.7.2 Proses Meshing pada material

Setelah memasukan data tentang material selanjutnya dilakukan meshing pada material. Dengan memilih menu project selanjutnya sub menu model didalamnya ada menu mesh. Pilih pada menu toolbar terdapat menu mesh. Di dalam menu mesh terdapat pilihan generate mesh lalu klik menu tersebut maka akan tampil tampilan proses meshing dan tunggu beberapa waktu seperti pada gambar dibawah ini



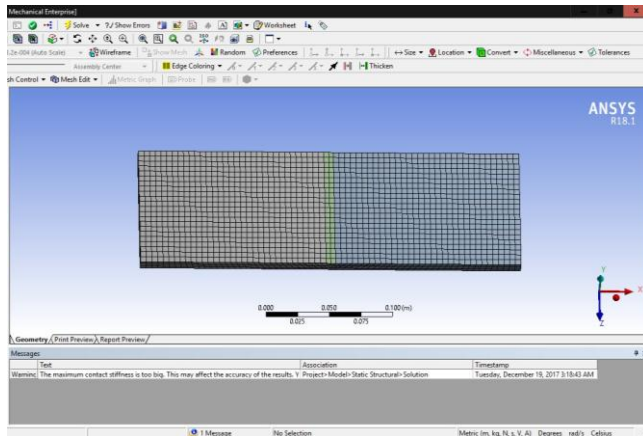
Gambar 3.16 Generate Mesh pada menu Mesh

Selanjutnya dilihat meshing yang akan digunakan adalah coarse dan untuk pilihan lainya digunakan pengaturan standar seperti gambar dibawah ini



Gambar 3.17 Menu mesh pada project

Setelah selesai maka hasilnya material akan terbagi menjadi elemen-elemen kecil seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 3.18 Hasil proses meshing pada material

Kembali ke project sebelumnya pada menu set up, klik kanan akan muncul pilihan transfer data from new pilih transient thermal akan muncul transient thermal box pada project seperti gambar di bawah ini, pemilihan ini dikarenakan data masukan yang digunakan adalah heat input dan panas yang bekerja pada benda kerja



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Parameter Pengelasan

Semua Proses pengelasan dilakukan di workshop PT. Duta Cipta Pakar Perkasa Wringinanom Gresik. Pada masing masing material mempunyai fit up dan pengerjaan yang berbeda-beda. Untuk material 1 difit up dengan sudut groove  $60^0$  dan jarak gap 2 mm. Material 2 difit up dengan sudut groove  $50^0$  dan jarak gap 2 mm, sedangkan material 3 difit up dengan sudut groove  $70^0$  dan jarak gap 2 mm. pengelasanya dilakukan dengan proses FCAW menggunakan elektroda AWS A5.20 E 71 T-1C dengan diameter elektroda 1,2 mm.

Tabel 4.1 record parameter pengelasan material 1

Nama	Keterangan
Material	SS 400
Tebal	10 mm
Panjang	300 mm
Lebar	100 mm
Diameter filler	1,2 mm
Posisi Pengelasan	1 G

Proses	FCAW
Layer Number	4
Travel Speed	140 mm/min
Ampere	20 A
Voltage	200 V
Heat Input	1.7142 kj/min



Tabel 4.2 record parameter pengelasan material 2

Nama	Keterangan
Material	SS 400
Tebal	10 mm
Panjang	300 mm
Lebar	150 mm
Diameter filler	1,2
Posisi Pengelasan	1 G

Proses	FCAW
Layer Number	4
Travel Speed	130 mm/min
Ampere	20 A
Voltage	200 V
Heat Input	1, 8461kj/min

Tabel 4.3 record parameter pengelasan material 3

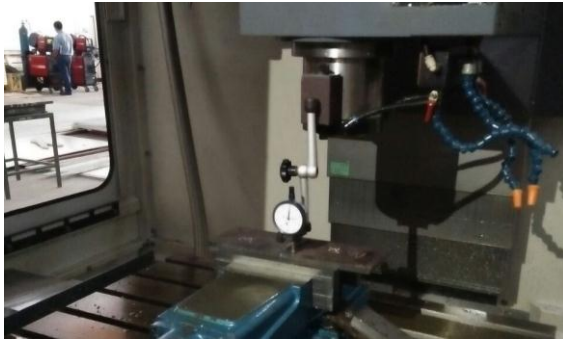
Nama	Keterangan
Material	SS 400
Tebal	10
Panjang	300
Lebar	150
Diameter filler	1,2
Posisi Pengelasan	1 G

Proses	FCAW
Layer Number	5
Travel Speed	120 mm/min
Ampere	20
Voltage	200
Heat Input	2 Kj/min

## 4.2 Pengujian pengukuran distorsi

### 4.2.1 Pengukuran distorsi material dengan sudut groove 50°

Pengukuran distorsi dilakukan dengan metode fixed point yaitu dengan membuat titik titik grid line pada posisi yang ditentukan. Pada pengukuran ini menggunakan bantuan mesin cnc untuk mengarahkan posisi dari dial indicator ke posisi yang akan diukur



Gambar 4.1 Proses pengukuran distorsi material sudut  $50^{\circ}$

#### 4.2.2 Pengukuran distorsi material dengan sudut groove $60^{\circ}$

Pengukuran distorsi dilakukan dengan metode fixed point yaitu dengan membuat titik titik grin line pada posisi yang ditentukan. Pada pengukuran ini menggunakan bantuan mesin cnc untuk mengarahkan posisi dari dial indicator ke posisi yang akan diukur



Gambar 4.2 Proses pengukuran distorsi material sudut  $60^{\circ}$

#### 4.2.3 Pengukuran distorsi material dengan sudut groove 70°

Pengukuran distorsi dilakukan dengan metode fixed point yaitu dengan membuat titik titik grid line pada posisi yang ditentukan. Pada pengukuran ini menggunakan bantuan mesin cnc untuk mengarahkan posisi dari dial indicator ke posisi yang akan diukur



Gambar 4.3 Proses pengukuran distorsi material sudut 70°

#### 4.2 Analisa Hasil Pengukuran distorsi

Distorsi hasil pengelasan diukur dengan alat dial indicator pada tiap titik di grid line benda kerja. Pengukuran distorsi dilakukan di seluruh permukaan benda kerja. Dalam pengujian pengukuran distorsi ini didapatkan nilai nilai pada setiap titik yang telah ditentukan.

0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	Y1 0
											Y2 20
											Y3 40
											Y4 60
											Y5 80
											Y6 100

Gambar 4.4 Gambar system pengukuran distorsi

Tabel 4.4 Hasil pengukuran distorsi material sudut groove  
50<sup>0</sup>

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
<b>X1</b>	0.36	0.35	0.41	0.4	0.4	0.4
<b>X2</b>	0.3	0.28	0.27	0.27	0.28	0.28
<b>X3</b>	0.11	0.13	0.17	0.17	0.17	0.19
<b>X4</b>	0.04	0.07	0.09	0.1	0.11	0.14
<b>X5</b>	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.05
<b>X6</b>	0	0	0	0	0	0
<b>X7</b>	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.09
<b>X8</b>	0.1	0.11	0.12	0.12	0.16	0.18
<b>X9</b>	0.2	0.23	0.21	0.21	0.25	0.29
<b>X10</b>	0.43	0.43	0.43	0.43	0.49	0.52
<b>X11</b>	0.57	0.59	0.59	0.6	0.63	0.68

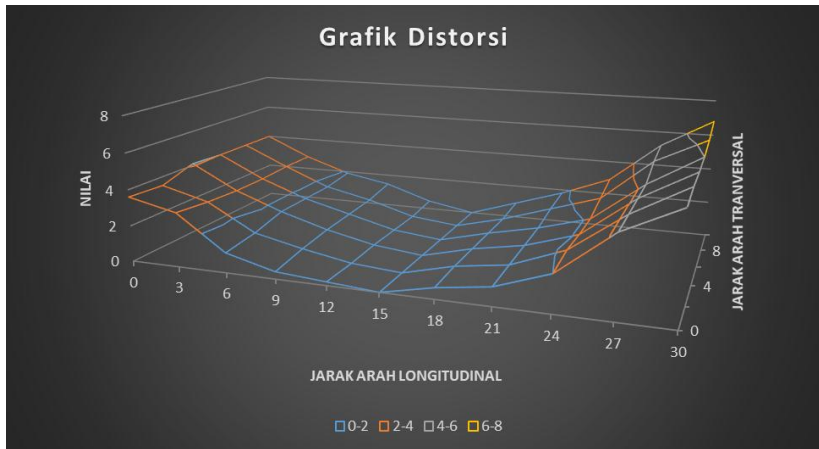
Tabel 4.5 Hasil pengukuran distorsi material sudut groove  
60<sup>0</sup>

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
<b>X1</b>	0.57	0.52	0.49	0.58	0.6	0.61
<b>X2</b>	0.33	0.33	0.3	0.32	0.37	0.38
<b>X3</b>	0.13	0.09	0.1	0.1	0.13	0.12
<b>X4</b>	0.08	0.05	0.04	0.05	0.07	0.06
<b>X5</b>	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01
<b>X6</b>	0	0	0	0	0	0
<b>X7</b>	0.11	0.1	0.1	0.1	0.1	1

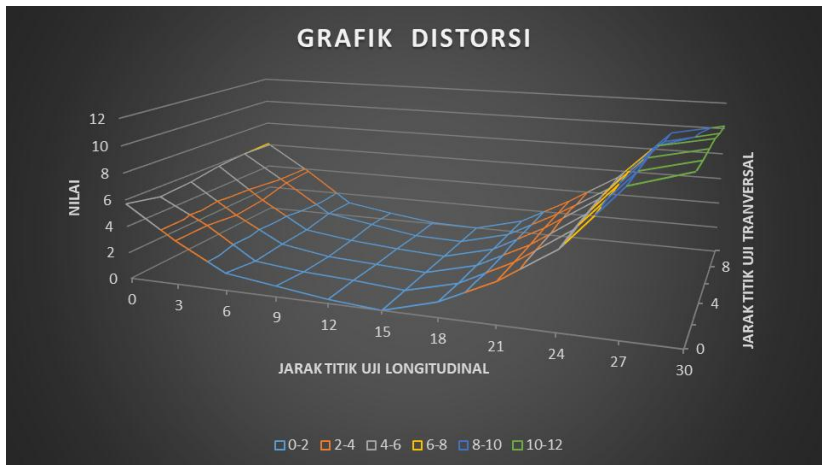
<b>X8</b>	0.3	0.3	0.3	0.31	0.31	0.31
<b>X9</b>	0.56	0.57	0.57	0.57	5.5	5.5
<b>X10</b>	1	1	1	1	0.97	0.95
<b>X11</b>	1.12	1.1	1.09	1.08	1.04	1.02

Tabel 4.6 Hasil pengukuran distorsi material sudut groove  
70<sup>0</sup>

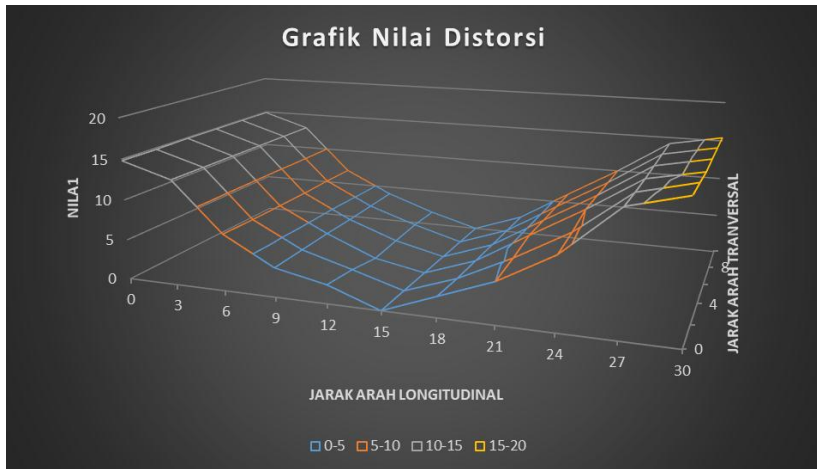
	<b>Y1</b>	<b>Y2</b>	<b>Y3</b>	<b>Y4</b>	<b>Y5</b>	<b>Y6</b>
<b>X1</b>	1.48	1.48	1.49	1.49	1.49	1.49
<b>X2</b>	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
<b>X3</b>	0.7	0.69	0.69	0.69	7	7
<b>X4</b>	0.36	0.37	0.38	0.38	0.39	0.4
<b>X5</b>	0.23	0.19	0.12	0.15	0.18	0.18
<b>X6</b>	0	0	0	0	0	0
<b>X7</b>	0.25	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
<b>X8</b>	0.5	0.55	0.62	0.62	6.2	06.2
<b>X9</b>	0.87	0.92	1	1	1	1
<b>X10</b>	1.45	1.43	1.42	1.42	1.42	1.42
<b>X11</b>	1.62	1.59	1.55	1.55	1.54	1.54



Gambar 4.5 Grafik hasil pengukuran distorsi material sudut groove  $50^{\circ}$



Gambar 4.6 Grafik hasil pengukuran distorsi material sudut groove  $60^{\circ}$



Gambar 4.7 Grafik hasil pengukuran distorsi material sudut groove  $70^0$

Distorsi yang diamati pada 3 plat hasil pengelasan dengan variasi sudut groove ( $50^0, 60^0, 70^0$ ) seperti ditunjukkan pada gambar 4.5 , 4.6, 4.7 bahwa perbedaan sudut groove menyebabkan terjadinya perubahan distorsi. Hasil pengukuran menunjukkan nilai distorsi maksimal arah longitudinal pada material sudut groove  $50^0$  yaitu 0.68 mm. Material dengan sudut groove  $60^0$  yaitu 1,12 mm, sedangkan material dengan sudut  $70^0$  yaitu 1.62 mm.

Demikian juga nilai distorsi maksimal arah transversal pada material sudut groove  $50^0$ , yaitu 0,1. Material dengan sudut groove  $60^0$  yaitu 0,1 mm, mm, sedangkan material dengan sudut  $70^0$  yaitu 0.13 mm.

Dari keterangan diatas dapat menjadi acuan bahwa penurunan nilai sudut groove akan memperkecil terjadinya distorsi arah longitudinal maupun arah transversal. Distorsi pengelasan tersebut juga berkaitan dengan distribusi temperature yang terjadi pada daerah las. Temperature maksimal pada material dengan sudut groove  $70^0$  cenderung lebih tinggi dari material sudut groove  $60^0$  dan material sudut groove  $50^0$ . Hal ini berbanding lurus dengan semakin



besar sudut groove maka semakin besar pula heat input yang dihasilkan.

Distorsi disebabkan oleh tegangan thermal yang lebih besar dari tegangan buckling kritis dari bahan yang bekerja dari arah longitudinal di daerah logam las. Tegangan thermal dipengaruhi salah satunya oleh heat input

#### 4.4 Pemodelan ANSYS

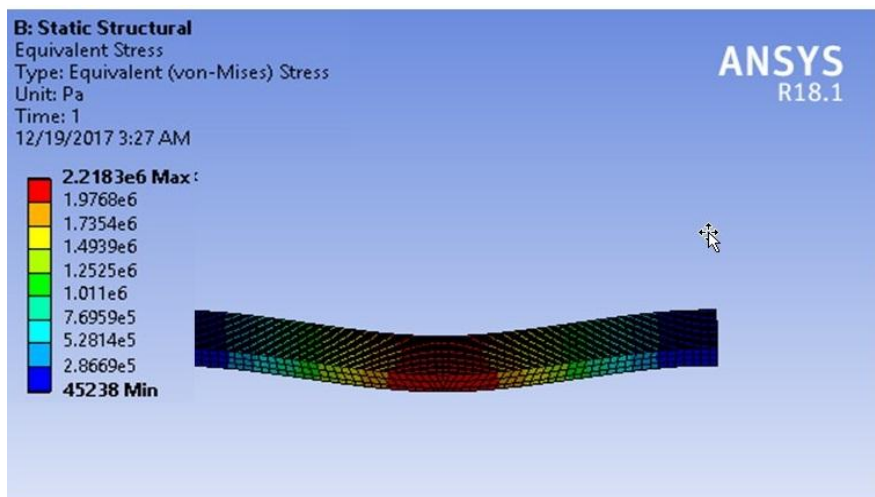
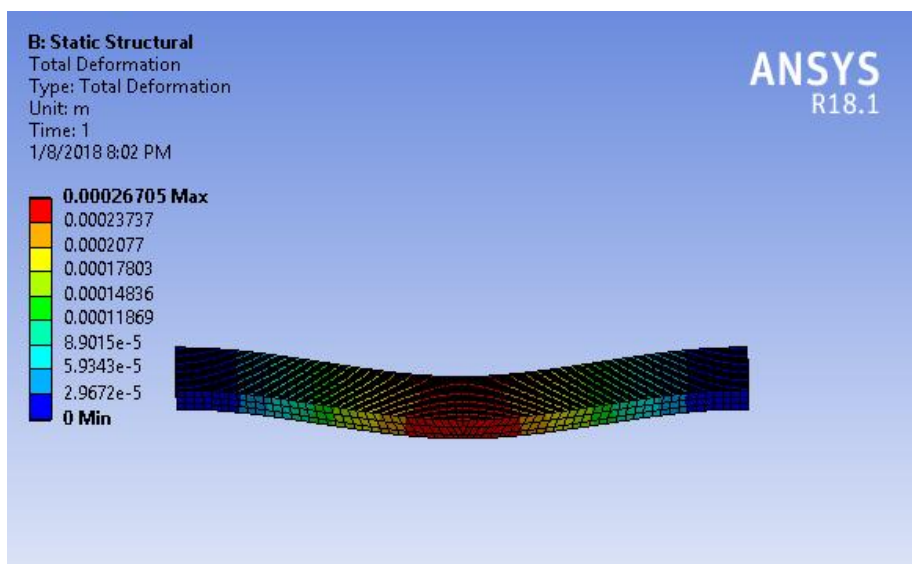
Pada bagian ini akan dibahas hasil dari pemodelan 3 dimensi yang telah dilakukan dengan software Ansys 18.1, yaitu model untuk analisa thermal structural pada material akibat pengelasan. Sesuai dengan sifat pembenanan yang dinamik yaitu perubahan beban berdasarkan fungsi dan waktu maka analisa yang dilakukan adalah analisis transient full solution method

Pemodelan pengelasan yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah dengan pemberian beban panas dan temperature pengelasan. Analisa thermal yang dilakukan akan menghasilkan tegangan panas transient, yang kemudian dimasukan dalam analisa structural sebagai beban dinamis. Output akhirnya adalah berupa transient stress, deformasi. Variasi yang dilakukan dalam pemodelan ini adalah variasi besar nilai sudut groove dengan asumsi kondisi pengelasan tidak berubah, yang kemudian akan ditinjau hubungan antara perubahan sudut groove dengan perubahan nilai distorsi serta tegangan sisa yang dihasilkan

#### 4.5 Analisa Hasil Pemodelan Ansys

##### 4.5.1 Hasil Pemodelan Sudut Groove 50

Dari hasil perhitungan dengan program Ansys diperoleh data distribusi total deformasi dan distribusi tegangan total



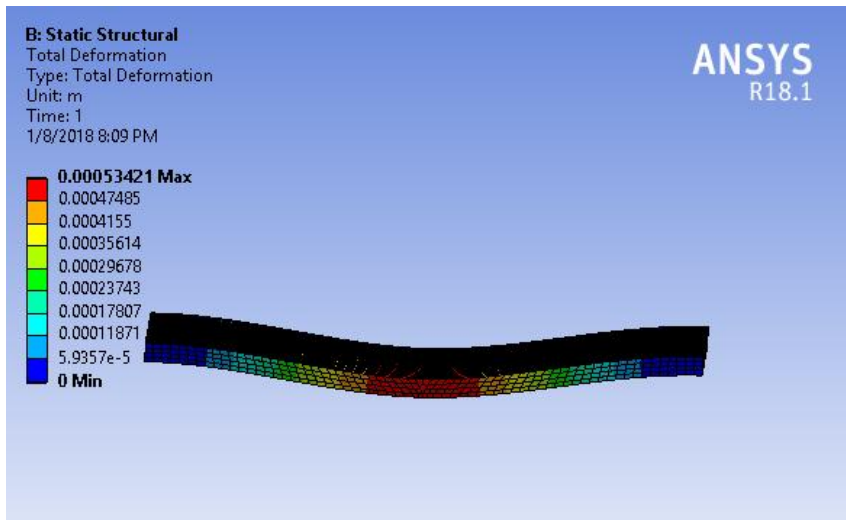
Gambar 4.8 Hasil simulasi Ansys sudut groove 50°

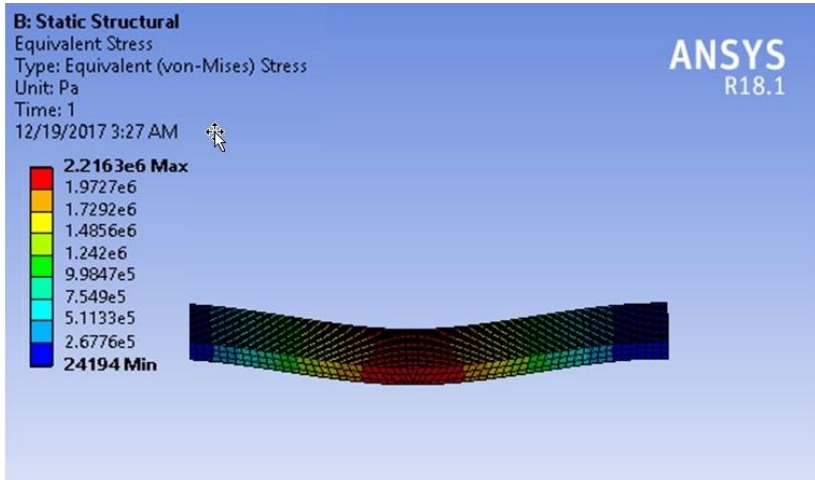
Berdasarkan pola distribusi tegangan total (von missed stress) tersebut dapat diamati posisi titik (node) dan harga tegangan maksimum yang terjadi tetap pada daerah sambungan. Pola distribusi tegangan menunjukkan harga tegangan sisa pada daerah HAZ dan berangsur berkurang pada material induk. Tegangan sisa maksimum sebesar 2.218 MPa terjadi pada pertemuan las dan batas material induk yang merupakan titik dan daerah kritis dari sambungan

Berdasarkan pola distribusi total deformasi tersebut dapat diamati harga deformasi yang paling besar terjadi pada daerah Weld Mwtal dan HAZ yaitu 0,26 mm. kemudian nilai deformasi akan berkurang sampai pada ujung base metal.

#### 4.5.2 Hasil Pemodelan Sudut Groove 60

Dari hasil perhitungan dengan program Ansys diperoleh data distribusi total deformasi dan distribusi tegangan total





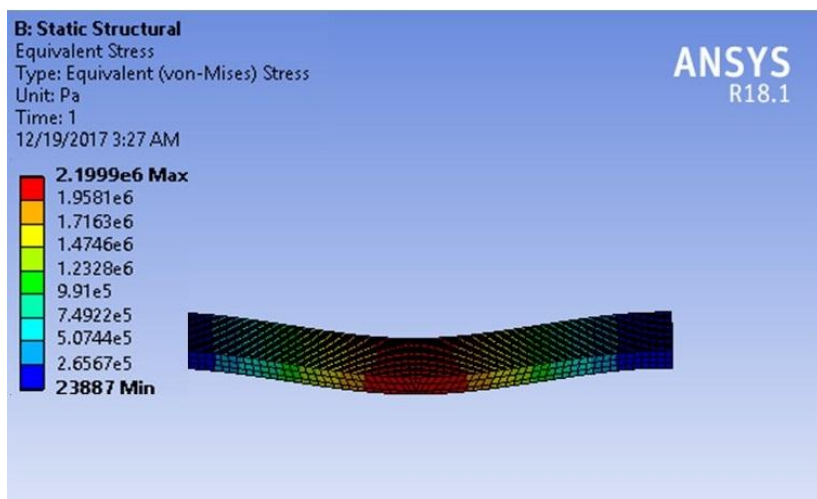
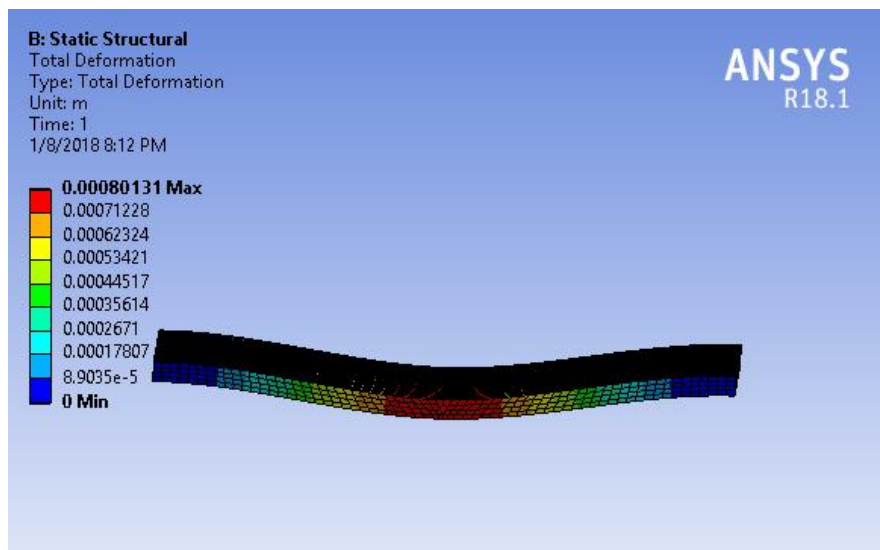
Gambar 4.9 Hasil Simulasi Ansys groove 60°

Berdasarkan pola distribusi tegangan total (von missed stress) tersebut dapat diamati posisi titik (node) dan harga tegangan maksimum yang terjadi tetap pada daerah sambungan. Pola distribusi tegangan menunjukkan harga tegangan sisa pada daerah HAZ dan berangsur berkurang pada material induk. Tegangan sisa maksimum sebesar 2.216 MPa terjadi pada pertemuan las dan batas material

Berdasarkan pola distribusi total deformasi tersebut dapat diamati harga deformasi yang paling besar terjadi pada daerah Weld Mwtal dan HAZ yaitu 0,53 mm. kemudian nilai deformasi akan berkurang sampai pada ujung base metal.

#### 4.5.2 Hasil Pemodelan Sudut Groove 70°

Dari hasil perhitungan dengan program Ansys diperoleh data distribusi total deformasi dan distribusi tegangan total

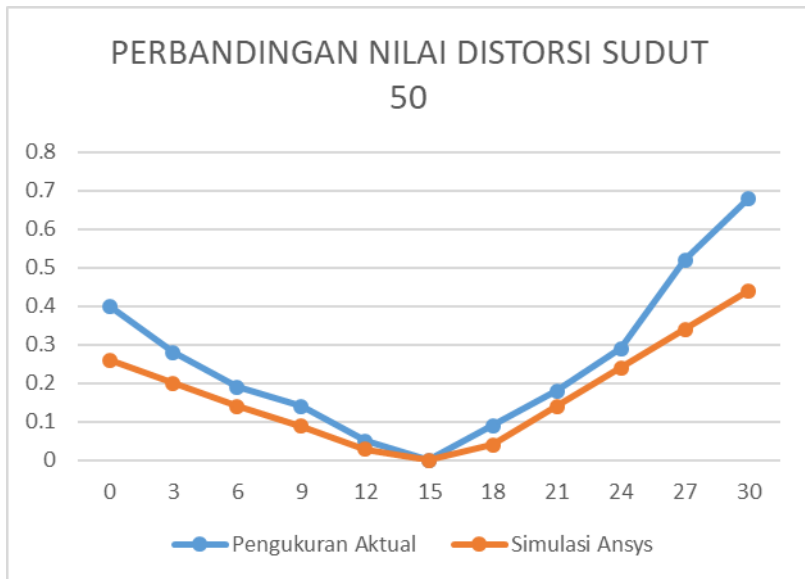


Gambar 4.9 Hasil Simulasi Ansys groove 70°

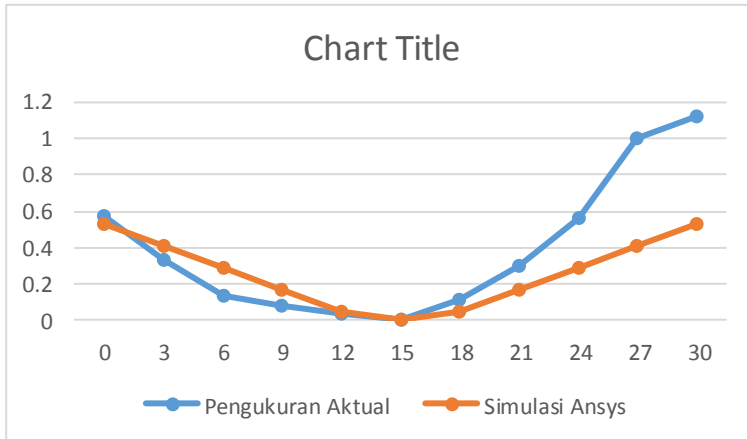
Berdasarkan pola distribusi tegangan total (von missed stress) tersebut dapat diamati posisi titik (node) dan harga tegangan maksimum yang terjadi tetap pada daerah sambungan. Pola distribusi tegangan menunjukan harga tegangan sisa pada daerah HAZ dan berangsur berkurang pada material induk. Tegangan sisa maksimum sebesar 2.199 MPa terjadi pada pertemuan las dan batas material

Berdasarkan pola distribusi total deformasi tersebut dapat diamati harga deformasi yang paling besar terjadi pada daerah Weld Mwtal dan HAZ yaitu 0.8 mm. kemudian nilai deformasi akan berkurang sampai pada ujung base metal.

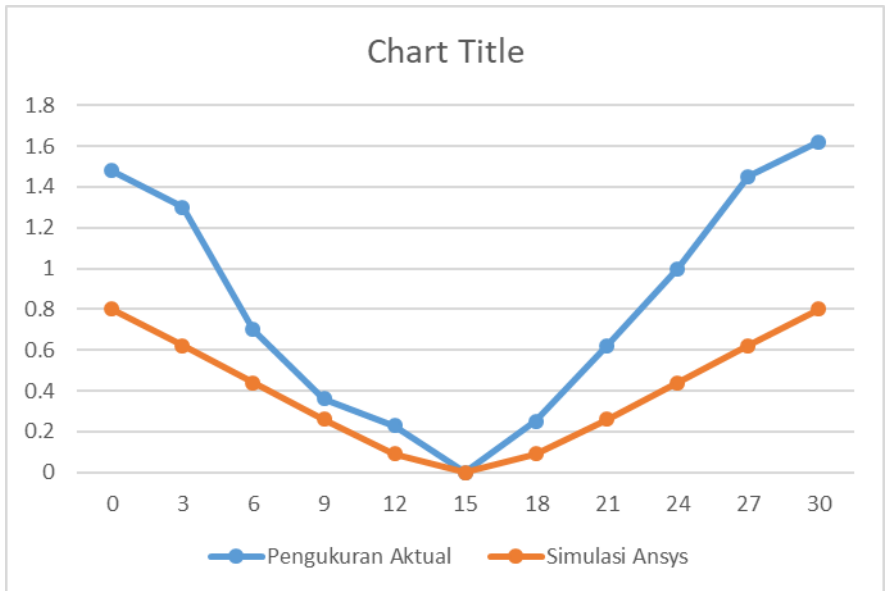
#### 4.6 Perbandingan Nilai Distorsi Aktual dengan Pemodelan Ansys



## PERBANDINGAN NILAI DISTORSI GROOVE 60



## PERBANDINGAN NILAI DISTORSI GROOVE 70







## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Semakin besar sudut groove maka semakin besar distorsi yang terjadi. Material dengan sudut groove  $50^0$  memiliki nilai distorsi arah longitudinal sebesar 0,58 mm dan distorsi arah transversal sebesar 0,1 mm, Material dengan sudut groove  $60^0$  memiliki nilai distorsi arah longitudinal sebesar 1,12 mm dan distorsi arah transversal sebesar 0,1 mm. Material dengan sudut groove  $70^0$  memiliki nilai distorsi arah longitudinal sebesar 1,62 mm dan distorsi arah transversal sebesar 0,13 mm
2. Pengukuran tegangan sisa dilakukan pada Material dengan sudut groove  $50^0$ ,  $60^0$ ,  $70^0$  dengan nilai berturut turut yaitu 439 Mpa, 404 MPa, dan 388 MPa
3. Nilai distorsi berbanding terbalik dengan nilai tegangan sisa, Semakin besar nilai distorsi maka semakin kecil nilai tegangan sisa, begitupun sebaliknya semakin kecil nilai distorsi maka semakin besar nilai tegangan sisa

#### **5.2 Saran**

Pada penelitian selanjutnya diharapkan :

1. Memperbanyak titik titik gridline pada material uji pengujian distorsi supaya didapatkan nilai distorsi lebih detail
2. Menggunakan Thermo Cople untuk mengetahui distribusi temperature
3. Menggunakan metode Sinar X untuk mengetahui nilai tegangan sisa secara aktual



Winarto, 2003. *Welding and Joining Technologies*. The Japan welding engineering society

Wirjosumarto, H. dan Okamura, T, 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta :,PT.Pradnya Paramita,

Vinsentius Septian, 2014. *Pengaruh Welding Sequence Terhadap Distorsi Pipa Stainless Steel 304*. Surabaya : PPNS

Abdillah Einstein, 2010. *Pengaruh Ketebalan Plat Terhadap Distorsi dan Tegangan Sisa Angular*. Jakarta : Universitas Indonesia

Heri, Ilman , Priyo, 2016. *Analisa Heat Input Pengelasan Terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanis Baja A 36*. Yogyakarta : Universitas Gajah Mada

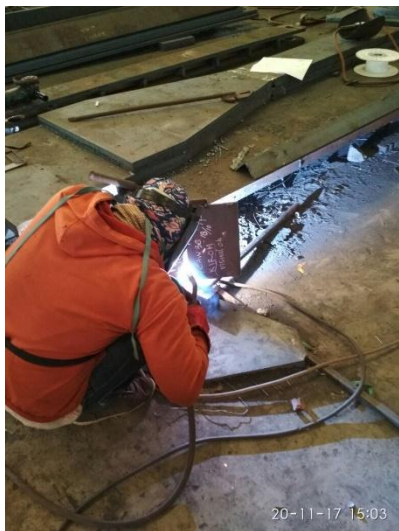
ASME (2010). ASME Section II C – 2010, *Material Specifications For Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals*. The American Society of Mechanical Engineering, USA.

Raharjo, Budi. 2010. Jenis Sambungan Pengelasan Dan Macam Macam Kampuh Las. Diambil dari :

<http://www.pengelasan.net/sambungan-las> (21 Desember 2017 )

## Lampiran 1

### Proses Penelitian



# Lampiran 2 Spesifikasi Material

## PT. GUNAWAN DIANJAYA STEEL Tbk. Surabaya - Indonesia

Page : 1 of 2

### MILL TEST CERTIFICATE

ACC. TO EN10204 : 2004 3.1

Head Office :  
Jl. Margomulyo No. 28 A  
T. Jember, Jember Regency, Surabaya 60184  
Phone : (0321) 7480081 (Pusat)  
Fax : (0321) 7480081  
E-mail : quality@gunawansteel.com  
http://www.gunawansteel.com



Purchaser : PT. DUTACOPTA PAKARPERKASA  
Order No. : J. Masrip IX / Km.07 Wungunung Karangteling Surabaya 60221  
Material : D - 25-2016  
Specification : HOT ROLLED STEEL PLATE  
Tolerances : ASTM A242 - 14  
ASTM A2 - 14

Certificate No. : GDS-OC-2016-1151  
Date : April 28, 2018  
Dispatched Address No. : LDO-1604-0567/0574/0578/0581-0583

Heat Number	Plate Number	Quantity	Dimensions (mm)			Weight (MT)	Ladle Analysis (%)														Tensile Test			Impact Value in Joule (°C)				Reference		
			T	W	L		C	Si	Mn	P	S	Nb	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Al	Ti	N	Test No.	Y.S N/mm <sup>2</sup>	T.S N/mm <sup>2</sup>	Elongation %	Brinell	I	II		III	AV
J 3098	P 41-45	5	9	1829	6096	3.940	14	16	83	14	5	0	1	2	3	10	1	30	0	2	P4	314	445	26						
J 3101	S 41-45	3	-	-	-	3.940	14	14	84	14	4	0	1	3	2	10	1	38	0	2	S5	286	434	22						
J 3112	K 41-45	3	-	-	-	3.940	14	14	83	17	3	0	1	3	2	10	1	35	2	2	K4	319	443	24						
J 3115	Q 43-45	3	-	-	-	2.364	14	15	81	15	6	0	1	3	3	10	1	38	1	1	Q4	319	443	25						
J 3124	J 41-45	5	-	-	-	3.940	14	14	82	15	3	0	1	4	3	10	1	25	0	3	Q3	315	445	23						
J 2324	F 35	1	10	1524	6096	0.729	13	14	81	17	3	0	1	4	2	10	1	32	0	2	J2	310	437	24						
J 2366	F 33-34	2	-	-	-	1.453	13	14	86	16	4	0	1	3	3	10	1	34	0	2	H3	317	467	22						
J 3099	H 35	1	-	-	-	0.729	14	13	81	14	4	0	1	3	2	10	1	26	0	2	H1	315	440	23						
J 3101	K 33-34	2	-	-	-	3.645	14	14	84	14	4	0	1	3	2	10	1	38	0	2	O2	301	446	22						
J 3115	S 31-32	2	-	-	-	2.916	14	16	81	15	5	0	1	3	3	10	1	38	1	1	I2	313	444	23						
J 3119	H 11-18	4	-	-	-	3.645	13	12	79	18	4	0	1	5	2	10	1	25	1	4	I5	326	443	25						
J 3124	F 41-42	2	-	-	-	1.453	14	14	82	15	3	0	1	4	3	10	1	25	0	3	S6	280	433	27						
J 1455	N 41-45	5	-	-	-	3.645	14	14	82	15	3	0	1	4	3	10	1	25	0	3	F4	305	477	26						
J 2451	H 31-32	2	12	1524	6096	1.750	18	18	109	10	6	0	1	3	2	10	1	33	0	2	F4	305	477	26						
J 2451	H 43-44	2	-	-	-	3.500	17	20	88	11	3	0	1	3	3	10	1	37	0	2	F3	296	480							

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL HEREIN HAS BEEN MADE AND TESTED IN ACCORDANCE WITH THE ABOVE SPECIFICATION AND ALSO WITH THE REQUIREMENT CALLED FOR BY THE ABOVE ORDER

PT. GUNAWAN DIANJAYA STEEL  
Surabaya - Indonesia  
For Customer Satisfaction Manager

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Lamongan, 29 Oktober 1995, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK ABA Warulor Paciran Lamngan, MIM 05 Warulor Paciran Lamongan, SMP TANwir Surabaya dan SMK Tanwir Surabaya. Setelah lulus dari SMK tahun 2013, penulis melanjutkan studi di D3 Teknik Mesin Reguler FTI-ITS dalam bidang studi manufaktur. Penulis sempat melakukan Kerja Praktek di PT. Pindad (persero) Divisi Munisi Malang dalam divisi Sparepart

selama 1 bulan.

Dalam pengerjaan tugas akhir ini penulis membutuhkan waktu pengerjaan kurang lebih 5 bulan pada semester 7 pendidikan di D3 Teknik Mesin FTI-ITS. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa D3 Teknik mesin FTI-ITS khususnya, serta untuk kebermanfaat orang banyak kedepannya.